CARL SAGAN

UN PUNTO AZUL PÁLIDO
UNA VISIÓN DEL FUTURO HUMANO EN EL ESPACIO

Traducción de Marina Widmer Caminal
Editorial PLANETA
ISBN 8408016458
Cuarta edición: Noviembre de 2003

PARA SAM
OTRO NÓMADA.
DESEO QUE SU GENERACIÓN PUEDA VER
MARAVILLAS INIMAGINABLES

NÓMADAS
INTRODUCCIÓN

Pero decidme, ¿Quienes son esos nómadas?
RAINER MARIA RILKE << LA QUINTA ELEGIA >> (1923)

Fuimos nómadas desde los comienzos. Conocíamos la posición de cada árbol en cien millas a la redonda. Cuando sus frutos o nueces habían madurado, estábamos allí. Seguíamos a los rebaños en sus migraciones anuales. Disfrutábamos con la carne fresca, con sigilo, haciendo amagos, organizando emboscadas y asaltos a fuerza viva, cooperando unos cuantos conseguíamos lo que muchos de nosotros, cazando por separado, nunca habríamos logrado. Dependíamos los unos de los otros. Actuar de forma individual resultaba tan grotesco de imaginar como establecernos en lugar fijo. Trabajando juntos protegíamos a nuestros hijos de los leones y las hienas. Les enseñábamos todo lo que iban a necesitar. También el uso de las herramientas. Entonces, igual que ahora, la tecnología constituía un factor clave para nuestra supervivencia.

Cuando la sequía era prolongada o si un frío inquietante persistía en el aire veraniego, nuestro grupo optaba por ponerse en marcha, muchas veces hacia lugares desconocidos. Buscábamos un entorno mejor. Y cuando surgían problemas entre nosotros en el seno de la pequeña banda nómada, la abandonábamos en busca de compañeros más amistosos. Siempre podíamos empezar de nuevo.

Durante el 99,9% del tiempo desde que nuestra especie inició su andadura fuimos cazadores y forrajeadores, nómadas moradores de las sabanas y las estepas. Entonces no había guardias fronterizos ni personal de aduanas. La frontera estaba en todas partes. Únicamente nos limitaban la tierra, el océano y el cielo; y, ocasionalmente, algún vecino hostil.

No obstante, cuando el clima era benigno y el alimento abundante estábamos dispuestos a permanecer en lugar fijo. Sin correr riesgos. Sin sobrecargas. Sin preocupaciones. En los últimos diez mil años —un instante en nuestra larga historia— hemos abandonado la vida nómada. Hemos domesticado a animales y plantas. ¿Por qué molestarse en cazar el alimento, cuando podemos conseguir que éste acuda a nosotros?

Con todas sus ventajas materiales, la vida sedentaria nos ha dejado un rastro de inquietud, de insatisfacción. Incluso tras cuatrocientas generaciones en pueblos y ciudades, no hemos olvidado. El campo abierto sigue llamándonos quedamente,

como una canción de infancia ya casi olvidada. Conquistamos lugares remotos con cierto romanticismo. Esa atracción, sospecho, se ha ido desarrollando cuidadosamente, por selección natural, como un elemento esencial para nuestra supervivencia. Veranos largos, inviernos suaves, buenas cosechas, caza abundante; nada de eso es eterno. No poseemos la facultad de predecir el futuro. Los eventos catastróficos están al acecho, nos cogen desprevenidos. Quizá debamos nuestra propia existencia, la de nuestra banda o incluso la de nuestra especie a unos cuantos personajes inquietos, atraídos por un ansia que apenas eran capaces de articular o comprender hacia nuevos mundos y tierras por descubrir.

Herman Melville, en *Moby Dick,* habla en favor de los aventureros de todas las épocas y latitudes: «Me agita una atracción permanente hacia las cosas remotas. Adoro surcar mares prohibidos...»

Para los antiguos griegos y romanos, el mundo conocido comprendía Europa, y unas Asia y África limitadas, rodeadas de un mundo oceánico infranqueable. Los viajeros podían toparse con seres inferiores, a los que llamaban bárbaros, o bien con seres superiores, que eran los dioses. Todo árbol poseía su dríade* toda región, su héroe legendario. Pero no había muchos dioses, al menos al principio, quizá sólo unas cuantas docenas. Habitaban en las montañas, bajo la superficie de la tierra, en el mar o ahí arriba, en el cielo. Enviaban mensajes a los hombres, intervenían en los asuntos humanos y se cruzaban con nuestra especie.

Con el paso del tiempo, cuando el hombre descubrió su capacidad para explorar, empezaron las sorpresas: los bárbaros podían ser tan ingeniosos como los griegos y los romanos. África y Asia eran más extensas de lo que nadie había imaginado. El mundo oceánico no era infranqueable. Existían las antípodas. También se supo de tres nuevos continentes, que habían sido colonizados por los asiáticos en tiempos pasados sin que tales noticias alcanzaran nunca a Europa. Por otra parte, los dioses resultaban decepcionantemente difíciles de encontrar.

La primera migración humana a gran escala del Viejo Mundo al nuevo se produjo durante el último periodo glaciar, unos 11500 años atrás, cuando las crecientes capas de hielo polar rebajaron la profundidad de los océanos e hicieron posible el traslado por terreno sólido desde Siberia hasta Alaska. Mil años después llegábamos a Tierra del Fuego, la punta más al sur de Sudamérica. Mucho antes que Colón, argonautas indonesios en canoas con balancín exploraron la parte occidental del Pacífico; oriundos de Borneo se establecieron en Madagascar; egipcios y libios circunnavegaron África; e incluso hubo una gran flota de juncos de alta mar, perteneciente a la dinastía china Ming, que cruzó el océano índico, estableció una base en Zanzíbar, rodeó el cabo de Buena Esperanza y penetró en el océano Atlántico.

> «En cuanto a la fábula de que existen antípodas —escribió san Agustín en siglo V—, es decir, personas en el extremo opuesto de la Tierra, donde el sol sale cuando se

* «Ninfa de los bosques, cuya vida duraba lo que el árbol a que se suponía unida», definición de Julio Casares. (N. *de la t.)*

> pone para nosotros y cuyos habitantes caminan con los pies opuestos a los nuestros, no es creíble en modo alguno. Incluso en el caso de que allí existiera una gran masa de tierra desconocida y no sólo océano, únicamente hubo una pareja de antepasados originales, y es de todo punto inconcebible que regiones tan distantes pudieran ser pobladas por los descendientes de Adán.»

Entre los siglos XV y XVII, barcos de vela europeos descubrieron nuevos continentes (nuevos, claro está, para los europeos) y circunnavegaron el planeta. En los siglos XVIII y XIX, exploradores americanos y rusos, mercaderes y colonos rivalizaron en su carrera por este y oeste, a través de dos vastos continentes hacia el Pacífico. Este entusiasmo desenfrenado por explorar y explotar, con independencia de lo irreflexivos que fueran quienes lo materializaron, entraña un claro valor de supervivencia. No se circunscribe a ninguna nación o grupo étnico concreto. Remite a un don que compartimos todos los miembros de la especie humana.

Desde el momento en que surgimos, hace unos cuantos millones de años en el este de África, hemos ido forjando nuestro camino a través del planeta. Hoy hay gente en todos los continentes, en la isla más remota, de polo a polo, desde el Everest hasta el mar Muerto, en las profundidades del océano e incluso, ocasionalmente, puede haber humanos acampados a trescientos kilómetros cielo arriba, como los dioses de la antigüedad.

En los tiempos que corren parece que ya no queda nada por explorar, al menos en el área terrestre de nuestro planeta. Víctimas de su notable éxito, hoy en día la gran mayoría de los exploradores prefieren quedarse en casa.

Importantes migraciones de población —algunas voluntarias, pero la mayoría no— han modelado la condición humana. Hoy son mucho más numerosas las personas que se ven obligadas a huir de la guerra, la represión y la hambruna que en ningún otro periodo de la historia humana. Y dado que el clima de la Tierra va a cambiar en las próximas décadas, es muy probable que aumenten extraordinariamente las cifras de refugiados medioambientales. Siempre acudiremos a la llamada de lugares más propicios. Las mareas humanas continuarán creciendo y menguando alrededor del planeta. Sin embargo, los países que han de acogernos hoy en día ya están poblados. Otras personas, a menudo poco comprensivas con nuestra situación, han llegado allí antes que nosotros.

A fines del siglo XIX, Leib Gruber crecía en algún lugar de la Europa central, en un humilde pueblo perdido en el inmenso y políglota antiguo Imperio austrohúngaro. Su padre vendía pescado cuando podía. Pero los tiempos eran difíciles. De joven, el único empleo honesto que Leib fue capaz de encontrar consistía en ayudar a la gente a cruzar el cercano río Bug. El cliente, ya fuera hombre o mujer, montaba a espaldas de Leib; calzando sus queridas botas, las herramientas de su trabajo, el muchacho vadeaba el río por un tramo poco profundo con el cliente a cuestas y dejaba a su pasajero en la orilla opuesta. En ocasiones el agua le cubría hasta la cintura. Allí no había un solo puente, ni tampoco ferrys. Quizá los caballos podían haber servido para ese fin, pero tenían

otros usos. Ese trabajo quedaba para Leib y otros chicos jóvenes como él.

Ellos no tenían otros usos. No había otro trabajo disponible. Así pues, deambulaban por la orilla del río anunciando sus precios y alardeando ante potenciales clientes de su superioridad como porteadores. Se alquilaban a sí mismos como animales cuadrúpedos. Mi abuelo era una bestia de carga.

Dudo mucho que, en toda su existencia, Leib se hubiera alejado más de cien kilómetros de Sassow, el pequeño pueblo que le vio nacer. Pero entonces, en 1904, según cuenta una leyenda familiar, a fin de evitar una condena por asesinato decidió de repente huir al Nuevo Mundo, dejando tras de sí a su joven esposa. Qué distintas de aquella atrasada aldea hubieron de parecerle las grandes ciudades portuarias alemanas, qué inmenso el océano, qué extraños los altísimos rascacielos y el frenético ajetreo de su nuevo hogar. Nada sabemos de su viaje transoceánico, pero encontramos la lista de pasajeros correspondiente al trayecto cubierto con posterioridad por su esposa, Chaiya, que fue a reunirse con Leib en cuanto hubo conseguido ahorrar lo suficiente. Viajó en la clase más económica a bordo del *Batavia,* un buque registrado en Hamburgo. En el documento se aprecia una concisión que, en cierto modo, parte el corazón: «¿Sabe leer o escribir?» «No.» «¿Habla inglés?» «No.» «¿Cuánto dinero lleva?» Me imagino lo vulnerable y avergonzada que debió de sentirse al responder: «Un dólar.»

Desembarcó en Nueva York, se reunió con Leib, vivió el tiempo suficiente para dar a luz a mi madre y a mi tía y luego murió a causa de «complicaciones» del parto. Durante esos pocos años en América, en algunas ocasiones habían adaptado su nombre al inglés y la llamaban Clara. Un cuarto de siglo después, mi madre puso a su primogénito, un varón, el nombre de la madre que nunca llegó a conocer.

Nuestros antepasados lejanos, observando las estrellas, descubrieron cinco que no se limitaban a salir y ocultarse en imperturbable progresión, como hacían las llamadas estrellas «fijas». Esas cinco presentaban un movimiento curioso y complejo. En el transcurso de los meses parecían avanzar despacio entre las demás estrellas. A veces ejecutaban rizos. Hoy las llamamos planetas[*], la palabra griega para designar a los nómadas. Era, me imagino, una peculiaridad que nuestros antepasados podían relacionar.

Hoy sabemos que los planetas no son estrellas, sino otros mundos, gravitacionalmente ligados al Sol. Cuando estábamos completando la exploración de la Tierra, empezamos a reconocerla como un mundo entre una incontable multitud de ellos, que giran alrededor del Sol o bien orbitan alrededor de los demás astros que conforman la galaxia Vía Láctea. Nuestro planeta y nuestro sistema solar se hallan rodeados por un nuevo mundo oceánico, las profundidades del espacio. Y no es más infranqueable que el de otras épocas.

Quizá todavía es pronto. Puede que no haya llegado el momento. Pero esos

[*] En el original «*planets*» (planetas), aunque en realidad la palabra griega que significa «nómadas» es «astros». (N. *de la t.)*

otros mundos, que prometen indecibles oportunidades, nos hacen señas.

En las últimas décadas, Estados Unidos y la antigua Unión Soviética han logrado un hito histórico realmente asombroso, la exploración cercana de todos aquellos puntos de luz, desde Mercurio hasta Saturno, que maravillaron y despertaron la curiosidad científica de nuestros antepasados. Desde que, en 1962, se llevara a cabo con éxito el primer vuelo interplanetario, nuestras máquinas se han aproximado, han orbitado o tomado tierra en más de sesenta nuevos mundos. Hemos «errado» entre los «errantes». Hemos descubierto enormes elevaciones volcánicas que empequeñecen la montaña más alta de la Tierra; antiguos valles fluviales en dos planetas, curiosamente uno de ellos demasiado frío y el otro demasiado caliente como para albergar agua; un planeta gigante, con un interior líquido de hidrógeno metálico en el cual cabría mil veces la Tierra; lunas enteras que se han fundido; un lugar envuelto en nubes con una atmósfera compuesta de ácidos corrosivos, cuya temperatura, incluso en los altiplanos más elevados, supera la del punto de fusión del plomo; superficies milenarias sobre las cuales ha quedado fielmente grabada la violenta formación del sistema solar; mundos de hielo refugiados en las profundidades transplutonianas; sistemas de anillos, exquisitamente modelados, que ofrecen testimonio de las sutiles armonías de la gravedad y un mundo rodeado de nubes compuestas de complejas moléculas orgánicas como las que, en la historia primitiva de nuestro planeta, condujeron al origen de la vida. Silenciosamente, todos ellos describen órbitas alrededor del Sol, esperando.

Hemos descubierto maravillas jamás soñadas por aquellos antepasados, pioneros en especular acerca de la naturaleza de las luces itinerantes que adornan el cielo nocturno. Hemos sondeado los orígenes de nuestro planeta y de nosotros mismos. Sacando a la luz otras posibilidades, enfrentándonos cara a cara con destinos alternativos de otros mundos similares al nuestro, hemos empezado a comprender mejor la Tierra. Cada uno de esos mundos es hermoso e instructivo. Pero, por lo que hasta hoy sabemos, son también, todos y cada uno de ellos, mundos desolados y estériles. Ahí fuera no existe «un lugar mejor». Al menos por el momento.

Durante la misión robótica Viking, que se inició en julio de 1976, pasé, en cierto modo, un año en Marte. Examiné los cantos rodados y las dunas arenosas, el cielo rojo, incluso al mediodía, los antiguos valles fluviales, las altísimas montañas volcánicas, la feroz erosión del viento, el laminado terreno polar, las dos lunas oscuras en forma de patata. Pero no había vida, ni un triste grillo ni una brizna de hierba, ni siquiera —en la medida en que podemos asegurarlo— un microbio. Esos mundos no han sido agraciados con la vida, como lo ha sido el nuestro. Comparativamente, la vida es una rareza. Podemos inspeccionar docenas de mundos y descubrir que solamente en uno de ellos surge, evoluciona y persiste la vida.

No habiendo cruzado, en toda su existencia, nada más ancho que un río, Leib y Chaiya se graduaron en atravesar océanos. Contaban con una gran ventaja: al otro

lado de las aguas los esperaban otros seres humanos, de costumbres extranjeras, eso es cierto, pero que hablaban su lengua y compartían, por lo menos, algunos de sus valores; también personas con las que establecieron una relación más íntima.

En la actualidad hemos cruzado el sistema solar y enviado cuatro naves a las estrellas. Neptuno se encuentra un millón de veces más alejado de la Tierra que la ciudad de Nueva York de las orillas del río Bug. Sin embargo, no alberga parientes lejanos, no hay humanos ni, aparentemente, forma de vida alguna esperándonos en esos otros mundos. No hay cartas remitidas por emigrados recientes que puedan ayudarnos a comprender ese nuevo territorio, solamente datos digitales transmitidos a la velocidad de la luz por robots emisarios precisos e insensibles. Nos comunican que esos nuevos mundos no se parecen al nuestro. Pero seguimos buscando posibles habitantes. No podemos evitarlo. La vida busca a la vida.

No hay nadie en la Tierra, ni siquiera el más rico de los hombres, que pueda permitirse el viaje; así pues, no podemos optar por marcharnos a Marte o a Titán por capricho o porque nos aburrimos, no tenemos trabajo, nos han reclutado para el ejército, nos sentimos oprimidos o porque, justa o injustamente, hemos sido acusados de un crimen. Este tema no parece prometer suficientes beneficios a corto plazo como para motivar a la industria privada. Si nosotros, los humanos, llegamos a viajar alguna vez a dichos mundos, será porque una nación o un consorcio de naciones opina que puede sacar algún provecho o que ello representa un beneficio para la especie humana. En este momento nos acucian muchos y muy graves problemas que compiten por esos fondos requeridos para enviar personas a otros mundos.

De eso trata este libro: de otros mundos, sobre qué nos espera en ellos, qué nos revelan acerca de nosotros mismos y, dada la urgencia de los problemas a los que se enfrenta nuestra especie, si tiene o no sentido acudir a ellos. ¿Debemos primero resolver nuestros problemas? ¿Constituyen esos problemas un motivo para recurrir a otros mundos?

En muchos aspectos, este libro es optimista en lo que se refiere a las perspectivas de la Humanidad. A primera vista puede parecer que los primeros capítulos se deleitan demasiado con nuestras imperfecciones. No obstante, proporcionan una base espiritual y lógica que resulta esencial para el desarrollo de mi argumentación.

He tratado de presentar más de una faceta de cada tema. Habrá pasajes en los que doy la sensación de estar discutiendo conmigo mismo. De hecho es lo que hago. Cuando descubro méritos en más de una de las partes, a menudo discuto conmigo mismo. Confío en que al llegar al último capítulo habrá quedado clara mi posición.

Someramente, el plan de la obra es el siguiente: en primer lugar pasamos revista a las extendidas reivindicaciones formuladas a lo largo de toda la historia humana, en cuanto a que nuestra especie y nuestro mundo son únicos y desempeñan un papel central en el funcionamiento y la finalidad del cosmos. A continuación, nos aventuramos a través del sistema solar siguiendo los pasos de los últimos viajes de

exploración y descubrimiento, para valorar los motivos aducidos generalmente en favor de enviar seres humanos al espacio. En la última parte del libro, la más especulativa, elaboro un esbozo de cómo imagino que puede desarrollarse a largo plazo nuestro futuro en el espacio.

Un punto azul pálido trata de una nueva concepción, que va asentándose poco a poco, acerca de nuestras coordenadas, del lugar que ocupamos en el universo y de cómo, aunque la llamada de la aventura ha quedado amortiguada en nuestros días, un elemento central del futuro de la Humanidad está situado más allá de la Tierra.

PÁGINA X: Los mundos del sistema solar tal como se conocían hacia el final de la época preliminar de exploración espacial. Los planetas terrestres, excepto Mercurio, y los satélites galileicos de Júpiter son mostrados en tres meridianos diferentes. Algunas de las lunas de Saturno y Urano aparecen en dos meridianos distintos. No se ofrece ningún detalle de Titán, porque no conocemos casi nada de su superficie. Partes de algunos mundos —por ejemplo Rea, Calisto y Mercurio— revelan escasos detalles, dado que dichas regiones nunca han sido visitadas por naves interplaneterias. Los detalles referentes a Plutón y Caronte fueron deducidos a partir de observaciones de ocultación efectuadas desde la Tierra. Muchas de las lunas pequeñas del sistema solar exterior quedan omitidas. Los mundos aparecen a escala, excepto los indicados. (Mimas, por ejemplo, aparece a una escala tres veces mayor de lo que se la compararía, por ejemplo, con la Tierra.) La gran mayoría de datos en que se basa esta imagen fueron obtenidos por naves lanzadas al espacio por la NASA. Los datos referentes a Venus proceden en parte de naves espaciales de la Unión Soviética, y la información acerca del cometa Halley, de una misión de la Agencia Espacial Europea (ESA). Cortesía de la NASA y la USGS. Un póster de esta ilustración se halla a la venta en el U. S. Geological Survey, Map Distribution, Box 25286, Federal Center, Denver, CO 80225.

CAPÍTULO 1

ESTAMOS AQUÍ

La Tierra entera no es más que un punto, ni el lugar que
habitamos más que una insignificante esquina del mismo.
MARCO AURELIO, emperador
romano *Meditaciones,* Vol. 4
(aprox. 170)

De acuerdo con las enseñanzas de los astrónomos,
la circunferencia de la Tierra, que a nosotros nos parece
tan interminable, comparada con la grandiosidad del universo
ofrece el aspecto de un mero punto diminuto.
AMIANO MARCELINO (aprox. 330-3951)
el último gran historiador romano,
Crónica de los sucesos

La nave espacial se encontraba muy lejos de casa, más allá de la órbita del planeta más exterior y muy por encima del plano de la eclíptica, una superficie plana imaginaria, algo así como una pista, en la que generalmente se hallan confinadas las órbitas de los planetas. La astronave se alejaba del Sol a 65000 kilómetros por hora. Pero a principios de febrero de 1990 recibió un mensaje urgente de la Tierra.

Obediente, modificó la orientación de sus cámaras, dirigiéndolas hacia los planetas ahora distantes. Tras girar su plataforma de exploración científica de un lugar del cielo a otro, captó sesenta imágenes y las almacenó, digitalizadas, en su cinta registradora. Luego, lentamente, en marzo, abril y mayo, fue radiando los datos hacia la Tierra. Cada imagen estaba compuesta de 640000 elementos individuales (pixels), como los puntos que aparecen en una foto impresa o en un cuadro puntillista. La nave espacial se encontraba a seis mil millones de kilómetros de la Tierra, tan lejos, que cada pixel tardaba cinco horas y media, viajando a la velocidad de la luz, en alcanzarla. Las imágenes podían haber sido reintegradas antes, pero los grandes radiotelescopios ubicados en California, España y Australia que reciben estos susurros procedentes de los bordes del sistema solar tenían responsabilidades con otras naves que surcan el océano espacial, entre ellas la sonda *Magallanes,* en dirección a Venus, y *Galilea,* en tortuoso viaje hacia Júpiter.

El *Voyager 1* se encontraba tan por encima del plano de la eclíptica porque, en 1981, se había aproximado mucho a Titán, la luna gigante de Saturno. Para su nave hermana, el *Voyager 2,* fue programada una trayectoria distinta dentro de dicho plano, y pudo así llevar a cabo sus celebradas exploraciones de Urano y Neptuno. Los dos robots *Voyager* han investigado cuatro planetas y casi sesenta lunas. Constituyen notables triunfos de la ingeniería humana y se cuentan entre las glorias del programa espacial norteamericano. A buen seguro ambas figurarán en los libros de historia cuando muchas otras cosas de nuestro tiempo hayan quedado

relegadas al olvido.

El buen funcionamiento de los *Voyager* sólo estaba garantizado hasta que efectuaran su encuentro con Saturno. Se me ocurrió que podía ser una buena idea que, una vez se hubiera producido, echaran un último vistazo en dirección a la Tierra. Yo sabía que desde Saturno la Tierra se vería demasiado pequeña como para que el *Voyager* pudiera percibir detalles. Nuestro planeta aparecería como un mero punto de luz, un pixel solitario, apenas distinguible de los otros muchos puntos de luz visibles, planetas cercanos y soles remotos. Pero precisamente por la oscuridad de nuestro mundo puesta así de manifiesto, podía valer la pena disponer de esa imagen.

Los navegantes dibujaron esmerados mapas de las líneas costeras de los continentes. Los geógrafos tradujeron esos hallazgos a mapas y globos terráqueos. Fotografías de pequeños trozos de la Tierra fueron tomadas primero desde globos y aviones, luego por cohetes en breves vuelos balísticos y, finalmente, por naves espaciales puestas en órbita, que ofrecen una perspectiva como la que se consigue observando un gran globo terráqueo a tres centímetros de distancia. Si bien a casi todos nosotros nos han enseñado que la Tierra es una esfera a la que, en cierto modo, estamos pegados por la fuerza de la gravedad, no empezamos a darnos verdadera cuenta de la realidad de nuestra circunstancia hasta ver la famosa foto de gran cobertura que la nave *Apolo* tomó de la esfera terrestre, la que obtuvieron los astronautas del *Apolo 17* en el último viaje del hombre a la Luna.

Esa imagen se ha convertido en una especie de icono de nuestra época. En ella aparece la Antártida, que americanos y europeos tan rápidamente consideran el punto más inferior, y luego todo el continente africano extendiéndose hacia arriba: puede verse Etiopía, Tanzania y Kenya, donde vivieron los humanos primitivos. Arriba, a la derecha, se vislumbra Arabia Saudí y lo que los europeos llaman el Próximo Oriente. En la porción superior, sobresaliendo apenas, se encuentra el mar Mediterráneo, a orillas del cual emergió una parte importante de nuestra civilización global. Se distingue también el azul del océano, el color rojo amarillento del Sahara y del desierto árabe, el verde pardo de bosques y prados.

Pero no hay rastro de los humanos en esa foto; tampoco de la remodelación de la superficie de la Tierra que nuestra especie ha llevado a cabo, de nuestras máquinas o de nosotros mismos: somos demasiado pequeños y nuestra organización política demasiado débil para ser captados por una nave espacial situada a caballo entre la Tierra y la Luna. Desde esa posición no se percibe ninguna evidencia de nuestra obsesión por el nacionalismo. Las imágenes de la Tierra obtenidas por el *Apolo* transmitieron a las multitudes algo de sobra conocido para los astrónomos: a la escala de los mundos —por no mencionar a estrellas o galaxias—, los humanos somos insignificantes, una fina película de vida sobre un oscuro pedazo de roca y metal.

Me pareció que otra instantánea de la Tierra, esta vez desde una distancia cien mil veces superior, podía ser útil en el constante proceso de revelarnos a nosotros mismos nuestra verdadera circunstancia y condición. Los científicos y filósofos de

la antigüedad clásica habían comprendido correctamente que la Tierra es un mero punto en la inmensidad del cosmos, pero nadie la había *visto* nunca como tal. Esa era nuestra primera oportunidad (y quizá también la última en décadas y décadas).

Eran muchos los que apoyaban el proyecto Voyager en la NASA. Pero desde el sistema solar exterior la Tierra está situada muy cerca del Sol, como una polilla cautiva alrededor de una llama.

¿Debíamos aproximar tanto la cámara al Sol y arriesgarnos a que se quemara el sistema vidicón de la sonda espacial? ¿No sería mejor esperar a que hubiera tomado todas las instantáneas científicas —las de Urano y Neptuno—, si es que la nave lograba conservarse todo ese tiempo?

Así pues esperamos —y resultó bien—, desde 1981 en Saturno y 1986 en Urano, hasta 1989, en que ambas sondas hubieron pasado las órbitas de Neptuno y Plutón. Por fin llegó el momento. Sin embargo, primero era necesario efectuar una serie de calibraciones instrumentales, y aguardamos un poquito más. A pesar de que las naves se encontraban en las posiciones correctas, su instrumental funcionando a la perfección y ya no había más fotos que tomar, algunos miembros del personal se mostraron contrarios a llevarlo a cabo. Aquello no tenía nada que ver con la ciencia, adujeron. Luego descubrimos que, en una NASA agobiada por los problemas económicos, los técnicos que diseñan y transmiten las órdenes por radio a los *Voyager* iban a ser despedidos de inmediato o transferidos a otros puestos. Si realmente querían tomarse esas imágenes, debía hacerse en ese preciso momento. En el último minuto —de hecho se produjo en mitad del encuentro del *Voyager 2* con Neptuno—, el entonces responsable de la NASA, el contralmirante Richard Truly, intervino y se aseguró de que se realizara el trabajo. Los científicos espaciales Candy Hansen, del Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL) de la NASA, y Carolyn Porco, de la Universidad de Arizona, diseñaron la secuencia de órdenes y calcularon los tiempos de exposición de la cámara.

De modo que aquí están, un mosaico de cuadrados colocados sobre los planetas y un esbozo de lo que son las estrellas más distantes. No sólo fue posible fotografiar la Tierra, sino también cinco de los nueve planetas conocidos del Sol. Mercurio, el más interior, se hallaba perdido en medio del deslumbrante resplandor solar, mientras Marte y Plutón eran demasiado pequeños, estaban escasamente iluminados y excesivamente alejados. Urano y Neptuno son tan oscuros, que registrar su presencia requirió largos periodos de exposición; por consiguiente, esas imágenes quedaron borrosas a causa del movimiento de la nave cósmica. Ese es el aspecto que ofrecerían los planetas a un vehículo espacial extraterrestre que se acercase al sistema solar tras un largo viaje interestelar.

Desde la distancia, los planetas parecen sólo puntos de luz, con manchas o sin ellas, incluso a través del telescopio de alta resolución instalado a bordo del *Voyager.* Son como los planetas observados a simple vista desde la superficie de la Tierra, puntos luminosos más brillantes que la mayoría de estrellas. Por espacio de unos meses, nuestro planeta, al igual que los demás, da la sensación de flotar entre

las estrellas. Con sólo mirar uno de esos puntos no somos capaces de decir lo que alberga, cuál ha sido su pasado y si, en esta época concreta, vive alguien allí.

Como consecuencia del reflejo de la luz solar de la nave hacia la Tierra, ésta parece envuelta en un haz de luz, como si ese pequeño mundo tuviera algún significado especial. Pero se trata solamente de un accidente achacable a la geometría y a la óptica. El Sol emite su radiación equitativamente en todas direcciones. Y si la imagen hubiera sido tomada un poco antes o un poco después, no habría habido haz de rayos solares que iluminara la Tierra.

¿*Y* por qué ese color azul celeste? El azul procede en parte del mar y en parte del cielo. Dentro de un vaso, el agua es transparente y absorbe ligeramente más luz roja que azul. Pero si lo que hay son decenas de metros de ese elemento o más, éste absorbe toda la luz roja y lo que se refleja de vuelta al espacio es el azul. Del mismo modo, a corta distancia, a través del aire, el objeto se ve transparente. No obstante —y eso es algo que Leonardo da Vinci explicó a la perfección—, cuanto más distante se encuentra, más azul parece. ¿Por qué? Ello es debido a que el aire dispersa mucho mejor la luz azul que la roja. Por ello, el matiz azulado de ese puntito es debido a su espesa pero transparente atmósfera y a sus profundos océanos de agua líquida. ¿Y el blanco? En un día normal, la Tierra aparece medio cubierta de blancas nubes de agua.

Nosotros somos capaces de explicar ese azul pálido que presenta nuestro pequeño mundo porque lo conocemos bien. Sin embargo, es menos probable que un científico extraterrestre, recién llegado a los aledaños de nuestro sistema solar, fuera capaz de deducir la existencia de océanos, nubes y una atmósfera densa. Neptuno, por ejemplo, es azul, pero fundamentalmente por razones distintas. Desde esa posición tan alejada puede parecer que la Tierra no reviste ningún interés especial.

Pero para nosotros es distinta. Echemos otro vistazo a ese puntito. Ahí está. Es nuestro hogar. Somos nosotros. Sobre él ha transcurrido y transcurre la vida de todas las personas a las que queremos, la gente que conocemos o de la que hemos oído hablar y, en definitiva, de todo aquel que ha existido. En ella conviven nuestra alegría y nuestro sufrimiento, miles de religiones, ideologías y doctrinas económicas, cazadores y forrajeadores, héroes y cobardes, creadores y destructores de civilización, reyes y campesinos, jóvenes parejas de enamorados, madres y padres, esperanzadores infantes, inventores y exploradores, profesores de ética, políticos corruptos, *superstars,* «líderes supremos», santos y pecadores de toda la historia de nuestra especie han vivido ahí... sobre una mota de polvo suspendida en un haz de luz solar.

La Tierra constituye sólo una pequeña fase en medio de la vasta arena cósmica. Pensemos en los ríos de sangre derramada por tantos generales y emperadores con el único fin de convertirse, tras alcanzar el triunfo y la gloria, en dueños momentáneos de una fracción del puntito. Pensemos en las interminables crueldades infligidas por los habitantes de un rincón de ese pixel a los moradores de algún otro rincón, en tantos malentendidos, en la avidez por matarse unos a

otros, en el fervor de sus odios.

Nuestros posicionamientos, la importancia que nos auto atribuimos, nuestra errónea creencia de que ocupamos una posición privilegiada en el universo son puestos en tela de juicio por ese pequeño punto de pálida luz. Nuestro planeta no es más que una solitaria mota de polvo en la gran envoltura de la oscuridad cósmica. Y en nuestra oscuridad, en medio de esa inmensidad, no hay ningún indicio de que vaya a llegar ayuda de algún lugar capaz de salvarnos de nosotros mismos.

La Tierra es el único mundo hasta hoy conocido que alberga vida. No existe otro lugar adonde pueda emigrar nuestra especie, al menos en un futuro próximo. Sí es posible visitar otros mundos, pero no lo es establecernos en ellos. Nos guste o no, la Tierra es por el momento nuestro único hábitat.

Se ha dicho en ocasiones que la astronomía es una experiencia humillante y que imprime carácter. Quizá no haya mejor demostración de la locura de la vanidad humana que esa imagen a distancia de nuestro minúsculo mundo. En mi opinión, subraya nuestra responsabilidad en cuanto a que debemos tratarnos mejor unos a otros, y preservar y amar nuestro punto azul pálido, el único hogar que conocemos.

CAPÍTULO 2

ABERRACIONES DE LA LUZ

Si la Humanidad fuera borrada del mundo, el resto parecería estar fuera de lugar, sin ningún sentido ni finalidad... y no conducir a nada.
FRANCIS BACON, *Sabiduría de los antiguos* (1619)

Ann Druyan sugiere un experimento: observemos de nuevo el punto azul pálido del capítulo anterior. Contemplémoslo durante un rato. Miremos ese puntito el tiempo que haga falta y luego tratemos de convencernos de que Dios creó todo el universo exclusivamente para una de entre los diez millones de especies que habitan esa mota de polvo. Demos ahora un paso más: imaginemos que todo fue creado para un solo matiz de esa especie, o género, o subdivisión étnica o religiosa. Si eso no nos parece demasiado improbable, tomemos otro puntito. Supongamos que *ése* está habitado por una forma distinta de vida inteligente. También ellos defienden la noción de un Dios que lo ha creado todo para su beneficio. ¿Tomaremos en serio *su* reivindicación?

— ¿Ves esa estrella?

— ¿Te refieres a esa roja brillante? —inquiere la hija por su parte.

—Sí. ¿Sabes? Es posible que ya no se encuentre allí. Hoy puede haber desaparecido, quizá haya explotado o algo así. Su luz todavía está viajando por el espacio y no ha llegado a nuestros ojos hasta ahora. No la vemos como es, sino como fue.

Muchas personas se quedan absolutamente maravilladas cuando se ven confrontadas por primera vez con esta simple verdad. ¿Por qué? ¿Por qué ha de parecemos tan increíble? En nuestro pequeño mundo la luz viaja, a todos los efectos prácticos, de forma instantánea. Si una bombilla está encendida, es evidente que brilla exactamente donde la vemos. Extendemos el brazo y la tocamos: en efecto, ahí está, y además quema. Si se rompe el filamento se apaga la luz. No la percibimos en el mismo lugar, resplandeciente, iluminando la estancia años después de que se haya fundido y la hayamos retirado del portalámparas. El concepto en sí parece un disparate. Pero, si nos encontramos lo suficientemente lejos, un sol entero puede apagarse y nosotros seguiremos viéndolo brillar intensamente; no nos enteraremos de su muerte tal vez durante siglos, de hecho, durante todo el tiempo que tarde la luz —que viaja rápido, pero no infinitamente— en cruzar la inmensidad que nos separa.

Las ingentes distancias que median hasta las estrellas y las galaxias son responsables de que en el espacio todo lo veamos en el pasado, y que incluso

percibamos algunos cuerpos celestes tal como eran antes de la formación de la Tierra. Los telescopios son en realidad máquinas del tiempo. Mucho tiempo atrás, cuando una galaxia primitiva empezaba a verter luz a la oscuridad que la envolvía, ningún testigo podía saber que, miles de millones de años después, unos cuantos pedazos remotos de roca y metal, hielo y moléculas orgánicas acabarían por juntarse para formar un lugar llamado Tierra; o que la vida nacería y evolucionaría hasta dar seres pensantes que, un buen día, tomarían un fragmento de esa luz galáctica y tratarían de averiguar qué era lo que la había colocado en su camino.

Y cuando la Tierra muera, dentro de unos cinco mil millones de años, cuando haya quedado reducida a cenizas o haya sido tal vez engullida por el Sol, surgirán otros mundos, estrellas y galaxias que nada sabrán de un lugar llamado en su día la Tierra.

Casi nunca parece un PREJUICIO. Al contrario, la idea de que, a raíz de un nacimiento casual, *nuestro* grupo (sea el que sea) debe ocupar una posición central en el universo social, parece acertada y justa. Entre príncipes faraónicos y pretendientes de la dinastía Plantagenet*, hijos de capitalistas sin escrúpulos† y burócratas del Comité Central, bandas callejeras y conquistadores de naciones, miembros de confiadas mayorías, oscuras sectas y denostadas minorías, esta actitud narcisista parece tan natural como la acción de respirar. Bebe de las mismas fuentes psíquicas que alimentan al sexismo, racismo, nacionalismo y otros perniciosos chauvinismos que azotan a nuestra especie. Es necesaria una gran fuerza de carácter para soportar la arrogancia de los que sostienen que gozamos de una superioridad clara —o incluso que nos ha sido otorgada por Dios— sobre nuestros congéneres. Cuanto más precaria es nuestra autoestima, mayor es nuestro grado de vulnerabilidad ante tales afirmaciones.

Dado que los científicos son personas, no es extraño que pretensiones comparables a la expresada se hayan insinuado también en el ámbito de la visión científica del mundo. En realidad, muchos de los debates centrales en la historia de la ciencia parecen, en parte, discusiones acerca de si la condición humana es especial. Casi siempre, de entrada se asume que somos especiales. No obstante, después de examinar la cuestión con mayor rigor se descubre —con desaliento en muchos casos— que no lo somos.

Nuestros antepasados vivieron al aire libre. Estaban tan familiarizados con el cielo nocturno como la mayoría de nosotros lo estamos con nuestro programa favorito de televisión. El Sol, la Luna, las estrellas y los planetas salían todos ellos por el este y se ponían por el oeste, atravesando el cielo sobre sus cabezas en el ínterin. El movimiento de los cuerpos celestes no era para ellos un mero

---

* Dinastía de soberanos ingleses (1154-1485). Perteneciente al linaje francés de los condes de Anjou, su pretensión al trono de Francia provocó la guerra de los Cien Años. *(Nota de la traductora)*

† En el original, «*robber barons*», que *Simón and Schuster's International Dictionary* traduce como capitalistas de Estados Unidos que a fines del siglo XIX adquirieron inmensas riquezas por medio de la explotación, el cohecho, etc. (TV. *de la t.)*

entretenimiento que les provocara una reverencial inclinación de cabeza o una exclamación de admiración; era el único modo de saber la hora del día y las estaciones del año. Tanto para cazadores y forrajeadores como para la gente que vivía de la agricultura, el conocimiento del cielo era cuestión de vida o muerte.

¡Qué suerte para nosotros que el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas conformen un reloj cósmico tan elegantemente configurado! No parecía una casualidad. Fueron puestos ahí con un propósito, nada menos que para nuestro beneficio. ¿Quién si no iba a hacer uso de ellos? ¿Para qué servirían, de no ser así?

¿Y si las luces del cielo salen y se ponen a nuestro alrededor, no es evidente que nos encontramos en el centro del universo? Esos cuerpos celestes, tan claramente dotados de poderes sobrenaturales —especialmente el Sol, de cuya luz y calor dependemos—, dan vueltas a nuestro alrededor cual cortesanos adulando servilmente a su rey. Incluso si todavía no lo hubiéramos adivinado, el más elemental examen de los cielos revela que *somos* especiales. El universo parece diseñado para los seres humanos. Resulta difícil contemplar esas circunstancias sin experimentar una punzada de orgullo y reafirmación. ¡El universo entero hecho para nosotros! ¡Qué importantes debemos ser!

Esta satisfactoria demostración de nuestra importancia, apuntalada por la observación diaria de los cielos, hizo de la noción geocéntrica una verdad transcultural que se enseñó en las escuelas, se introdujo en el lenguaje y fue parte esencial de la literatura y las escrituras sagradas. Todo el que se mostraba en desacuerdo era disuadido de su postura, en ocasiones mediante tortura o incluso la muerte. No es pues de extrañar que durante la mayor parte de la historia humana nadie cuestionara dicha teoría.

Esa era sin duda la postura de nuestros antepasados cazadores y recolectores. El gran astrónomo de la antigüedad Claudio Tolomeo sabía, en el siglo II, que la Tierra era una esfera, que su tamaño era «un punto» comparado con la distancia de las estrellas, y postuló que estaba ubicada «justo en mitad de los cielos». Aristóteles, Platón, san Agustín, santo Tomás de Aquino y casi todos los grandes filósofos y científicos de todas las culturas, a lo largo de tres mil años hasta el siglo XVII, cayeron en ese error. Algunos se concentraron en averiguar cómo el Sol, la Luna, las estrellas y los planetas podían estar tan hábilmente ligados a esferas cristalinas perfectamente transparentes —las grandes esferas, centradas, claro está, en la Tierra— que explicarían los complejos movimientos de los cuerpos celestes, tan meticulosamente referidos por generaciones de astrónomos. Y lo consiguieron: con modificaciones posteriores, la hipótesis geocéntrica explicaba de forma adecuada los aspectos del movimiento planetario tal como se conocían en el siglo II, y en el XVI.

A partir de ahí solamente era necesaria una ligera extrapolación para dar forma a una reivindicación todavía más grandiosa: que la «perfección» del mundo quedaría incompleta en ausencia de los seres humanos, tal como afirmaba Platón en el *Timeo.* «El hombre... lo es todo —escribía el poeta y clérigo John Donne en 1625—. No es una pieza del mundo, sino el mundo en sí mismo y, cercano a la

gloria de Dios, es la razón que explica la existencia del mundo.»

Y a pesar de todo, sin importar cuántos reyes, papas, filósofos, científicos y poetas insistieran en lo contrario, a lo largo de esos milenios la Tierra se obstinó tozudamente en seguir describiendo órbitas alrededor del Sol. No es difícil imaginar a un riguroso observador extraterrestre contemplando a nuestra especie durante todo ese tiempo —viéndonos alardear excitados con afirmaciones como «el universo fue creado para nosotros», «nosotros somos el centro», «todo rinde homenaje a nuestra especie»— y extrayendo la conclusión de que nuestras pretensiones son grotescas, nuestras aspiraciones patéticas y de que ése debe de ser el planeta de los necios.

Pero se trata de una opinión demasiado severa. Lo hicimos lo mejor que supimos. Lo que ocurrió fue que se produjo una desgraciada coincidencia entre las apariencias cotidianas y nuestras esperanzas secretas. Tenemos tendencia a no ser especialmente críticos cuando nos vemos confrontados con evidencias que parecen confirmar nuestros prejuicios. Y en este caso hubo pocos indicios que lo contrarrestaran.

En apagado contrapunto, unas cuantas voces disidentes que aconsejaban humildad y perspectiva pudieron escucharse a través de los siglos. En los albores de la ciencia, los filósofos atomistas de la Grecia y Roma antiguas —los primeros que sugirieron que la materia está compuesta de átomos— Demócrito, Epicuro y sus seguidores (y Lucrecio, el primer divulgador de la ciencia) proclamaron escandalosamente la existencia de multitud de mundos y de formas de vida extrañas, todas ellas compuestas de los mismos tipos de átomos que nosotros. Ofrecieron para nuestra consideración inmensidades en tiempo y espacio. Pero en los cánones vigentes en Occidente, seculares y sacerdotales, paganos y cristianos, las ideas atomistas eran rechazadas. En su lugar, los cielos no eran como nuestro mundo. Eran «inalterables y perfectos». La Tierra era mutable y «corrupta». El estadista y filósofo romano Cicerón resumió la visión común de la época: «En el cielo... no existe el azar o la casualidad, no hay error ni frustración, sino orden absoluto, precisión, cálculo y regularidad.»

La filosofía y la religión advertían que los dioses (o Dios) eran mucho más poderosos que nosotros, celosos de sus prerrogativas e implacables a la hora de repartir justicia en casos de arrogancia intolerable. Al mismo tiempo, estas disciplinas no tenían la más mínima idea de que sus propias enseñanzas acerca de cómo está ordenado el universo constituían un acto de vanidad y un error.

La filosofía y la religión presentaban una mera opinión —que podía ser rebatida mediante la observación y el experimento— como un hecho probado. Eso no las preocupaba en absoluto. Que algunas de sus creencias más acérrimamente defendidas podían resultar erróneas era una posibilidad apenas tomada en consideración. La humildad doctrinal debían practicarla otros. Sus enseñanzas eran inerrables e infalibles. En realidad, tenían mejores motivos para ser humildes de lo que podían imaginar.

Empezando con Copérnico a mediados del siglo XVI, el tema fue formalmente

unificado. La imagen del Sol, y no la Tierra, en el centro del universo fue considerada peligrosa. Servicialmente, muchos estudiosos se apresuraron a asegurar a la jerarquía religiosa que esta hipótesis recién inventada no representaba ningún desafío serio para la sabiduría convencional. En una especie de compromiso «conciliador»*, el sistema centrado en el Sol fue tratado como una simple conveniencia computacional, no como realidad astronómica, es decir, *realmente,* la Tierra se encontraba en el centro del universo, como todo el mundo sabía; pero si se trataba de predecir dónde estaría situado Júpiter el segundo martes del mes de noviembre a dos años vista, entonces estaba permitido suponer que era el Sol el que ocupaba el centro. De este modo podían efectuarse los cálculos pertinentes sin afrentar a las autoridades.

«Ello no entraña ningún peligro», escribió Robert Cardinal Bellarmine, el principal teólogo del Vaticano, a principios del siglo XVII, y satisface a los matemáticos. Pero afirmar que el Sol se halla realmente fijo en el centro de los cielos y que la Tierra da vueltas muy rápidamente a su alrededor es algo ciertamente peligroso, que no sólo irrita a los teólogos y a los filósofos, sino que atenta contra nuestra sagrada fe y tilda de falsas las sagradas Escrituras.

«La libertad de pensamiento es perniciosa —escribió Bellarmine en otra ocasión—. No es nada más que la libertad de estar equivocado.»

Además, si la Tierra giraba alrededor del Sol, debería parecer que las estrellas cercanas avanzaban hacia el fondo de las estrellas más distantes, ya que cada seis meses cambiamos nuestra perspectiva de un lado de la órbita terrestre al otro. No obstante, no se había hallado evidencia de un «paralaje anual» de ese tipo. Los copernicanos adujeron que eso era debido a que las estrellas se encontraban extremadamente lejos, quizá un millón de veces más distantes que la Tierra del Sol. Posiblemente en tiempos futuros se encontraría un paralaje anual. Los geocentristas, por su parte, lo consideraron un intento desesperado de salvar una hipótesis defectuosa y, en vista de ello, absurda.

Cuando Galileo apuntó al cielo con el primer telescopio astronómico, la marea empezó a cambiar. Descubrió que Júpiter llevaba un pequeño séquito de lunas girando a su alrededor, las más interiores con mayor rapidez que las exteriores, tal como Copérnico había deducido para el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Halló asimismo evidencias de que Mercurio y Venus atravesaban diversas fases, al igual que la Luna (demostrando que describían órbitas alrededor del Sol). Además, los cráteres de la Luna y las manchas del Sol ponían en entredicho la perfección de los cielos. En parte, éste podría ser el problema que había preocupado a Tertuliano mil trescientos años antes, cuando imploró: «Si tenéis

---

* El famoso libro de Copérnico se publicó primero con una introducción del teólogo Andrew Ossiander, incluida sin el conocimiento del astrónomo agonizante. La bienintencionada tentativa de Ossiander de reconciliar la religión y la astronomía copernicana terminaba con las palabras siguientes: «Que nadie espere certezas de la astronomía, pues la astronomía no puede ofrecernos ninguna certeza, no sea que si alguien asume como verdad lo que ha sido construido para otros usos, acabe saliendo de esa disciplina más loco que cuando acudió a ella.» La certeza sólo podía ofrecerla la religión.

alguna modestia o sentido común, dejad de fisgar en las regiones del cielo, en el destino y secretos del universo.»

Por el contrario, Galileo proclamó que podemos interrogar a la Naturaleza a través de la observación y la experiencia. Si lo hacemos, «hechos que a primera vista parecen inverosímiles, aunque no queden suficientemente explicados, dejarán caer el manto que los mantenía ocultos y aparecerán ante nuestros ojos con toda su simple y desnuda belleza». ¿No constituyen tales hechos, que incluso los más escépticos pueden confirmar, una visión más acertada del universo de Dios que todas las especulaciones de los teólogos? Pero ¿y si esos hechos contradicen las creencias de aquellos que consideran su religión incapaz de cometer errores? Los príncipes de la Iglesia amenazaron al anciano astrónomo con torturarle si persistía en su actitud de enseñar la abominable doctrina de que la Tierra se movía. Finalmente fue condenado a una especie de arresto domiciliario para el resto de su vida.

Una o dos generaciones más tarde, allá por los tiempos en que Isaac Newton demostró que unos simples y elegantes principios de la física podían explicar cuantitativamente —y predecir— todos los movimientos lunares y planetarios observados (siempre que se admitiera que el Sol se halla en el centro del sistema solar), la noción geocéntrica sufrió un nuevo desgaste.

En 1725, en un intento de descubrir el paralaje estelar, el esmerado astrónomo aficionado inglés James Bradley tropezó con la aberración de la luz. El término «aberración» transmite, supongo yo, algo de lo inesperado del descubrimiento. Bradley se dio cuenta de que, observadas en el transcurso de un año, las estrellas trazan pequeñas elipses en el cielo. No obstante, todas las estrellas presentaban ese fenómeno. Eso no podía ser el paralaje estelar, pues cabría esperar un gran paralaje para las estrellas cercanas y uno prácticamente indetectable para las alejadas. En cambio, la aberración es similar al fenómeno que se produce cuando caen las gotas de lluvia sobre el cristal de un coche en marcha; los pasajeros tienen la impresión de que caen en sentido oblicuo y, cuanto más rápido circula el vehículo, más inclinadas parecen caer las gotas. Si la Tierra se mantuviera fija en el centro del universo y no se moviera en su órbita alrededor del Sol, Bradley no habría descubierto la aberración de la luz. Ésa era pues una demostración aplastante de que la Tierra gira alrededor del Sol. Convenció a la mayoría de los astrónomos y también a otras personas, pero no —pensó Bradley— a los «anticopernicanos».

Sin embargo, hasta 1837 la observación directa no consiguió probar de manera clara y nítida que es cierto que la Tierra da vueltas alrededor del Sol. Finalmente se descubrió también el tan debatido paralaje anual, pero no mediante argumentos mejores, sino gracias a instrumentos más avanzados. Dado que explicar en qué consiste es mucho más directo que explicar la aberración de la luz, su descubrimiento resultó muy importante. Supuso el último clavo para sellar el ataúd del geocentrismo. Basta con mirarse un dedo, primero con el ojo izquierdo y luego con el derecho, para descubrir que da la sensación de moverse. El paralaje es muy fácil de comprender.

Hacia el siglo XIX todos los científicos geocentristas se habían convertido o extinguido. Una vez convencidos la mayoría de ellos, la opinión pública informada cambió rápidamente, en algunos países en sólo tres o cuatro generaciones. Naturalmente, en tiempos de Galileo y Newton, e incluso mucho más tarde, quedaba todavía quien no estaba de acuerdo, quien trataba de impedir que se aceptara o llegara a conocerse la nueva imagen del universo con el Sol en el centro. También había mucha gente que mantenía, al menos en secreto, sus reservas al respecto.

Bien entrado el siglo XX, por si quedaba todavía algún indeciso, hemos podido dejar definitivamente zanjada la discusión. Hemos sido capaces de comprobar si vivimos en un sistema centrado por la Tierra, con planetas unidos a esferas transparentes de cristal, o si más bien se trata de un sistema centrado en el Sol, con planetas controlados a distancia por la gravedad que ejerce dicho astro. Hemos sondeado, por ejemplo, los planetas mediante radar. Cuando hacemos rebotar una señal en una luna de Saturno, no recibimos ningún eco de radio procedente de alguna esfera de cristal más cercana, adherida a Júpiter. Nuestras naves espaciales arriban a sus destinos programados con una precisión asombrosa, exactamente como había vaticinado la gravitación newtoniana. Cuando nuestros vehículos espaciales llegan a Marte, pongamos por caso, sus instrumentos no registran estallidos ni detectan fragmentos de cristal roto al chocar contra las «esferas» que —de acuerdo con las opiniones autorizadas que prevalecieron durante milenios— propulsan a Venus o al Sol en sus concienzudos movimientos alrededor de la Tierra central.

Cuando el *Voyager 1* realizó la exploración del sistema solar desde más allá del planeta más exterior, comprobó, tal como Copérnico y Galileo habían afirmado, que el Sol se halla en el centro y los planetas describen órbitas concéntricas a su alrededor. Lejos de estar ubicada en el centro del universo, la Tierra no es más que uno de esos puntos orbitantes. Sin estar ya confinados en un mundo solitario, ahora podemos llegar a otros y determinar de forma decisiva qué tipo de sistema planetario habitamos.

Cualquier otra propuesta, y son legión, encaminada a desplazarnos del centro del cosmos ha sido igualmente combatida, en parte por razones similares. Al parecer anhelamos un privilegio, merecido no por nuestros esfuerzos, sino por nacimiento, digamos que por el mero hecho de ser humanos y de haber nacido en la Tierra. Podríamos llamarla la noción antropocéntrica, «centrada en el ser humano».

Esta noción alcanza su culminación en la idea de que fuimos creados a imagen y semejanza de Dios: «El Creador y Gobernador de todo el universo es precisamente como yo. ¡Caramba, qué coincidencia! ¡Qué adecuado y satisfactorio!» El filósofo griego del siglo VI a. J.C. Jenófanes comprendió la arrogancia de esta perspectiva:

> Los etíopes plasman a sus dioses negros y de nariz respingona; los tracianos dicen de los suyos que tienen los ojos azules y el pelo rojo... Sí, y si bueyes, caballos o leones tuvieran manos y pudieran pintar con ellas, y producir obras de arte como los

> hombres, los caballos pintarían a sus dioses con forma de caballo, los bueyes con forma de buey...

Este tipo de actitudes se han descrito alguna vez como «provincianas»; la ingenua expectativa de que las jerarquías políticas y las convenciones sociales de una provincia humilde se extienden a un vasto imperio compuesto de muchas tradiciones y culturas diferentes; que el entorno familiar, nuestro pequeño reducto, constituye el centro del mundo. Los palurdos de pueblo no saben casi nada acerca de otras posibilidades. No alcanzan a comprender la insignificancia de su provincia o la diversidad del imperio. Con toda tranquilidad aplican sus propias normas y costumbres al resto del planeta. Pero trasladados a Viena, por ejemplo, o Hamburgo o Nueva York, reconocen apesadumbrados cuan limitada ha sido hasta entonces su perspectiva. Se «desprovincializan».

La ciencia moderna ha supuesto un viaje a lo desconocido, con una lección de humildad aguardando en cada parada. Muchos pasajeros habrían preferido quedarse en casa.

ENFRENTE: El universo de galaxias. Esta espectacular fotografía, obtenida por el telescopio espacial *Hubble,* muestra la periferia del cúmulo galáctico Coma, que se halla a unos 370 millones de años luz de distancia. Virtualmente todos los objetos que se ven son galaxias. La más destacada, en el centro, es la NGC 4881, una galaxia elíptica gigante. La segunda en tamaño, a su izquierda, es una galaxia espiral, como la Vía Láctea, vista de frente. Las galaxias alargadas son otras galaxias espirales vistas de perfil. El objeto de color naranja y blanco que arrastra dos colas son dos galaxias en colisión; la gravedad de cada una de ellas ha distorsionado la forma de la otra. Los cuadros negros representan ausencia de datos.

Muchas de las galaxias más vagas que se ven en la imagen no forman parte del cúmulo galáctico Coma, si bien son galaxias considerables que aparecen más tenues por hallarse mucho más alejadas. Futuras generaciones de telescopios serán capaces de captar la luz de un número enormemente mayor de galaxias distantes, que hoy nos resultan completamente desconocidas.

El campo visual que abarca esta imagen corresponde a un pequeño cuadrado en el cielo de menos de un uno por ciento del área angular aparente de la Luna. Por ello no representa más que una cienmillonésima del cielo, aproximadamente. El número total de estrellas en este campo de visión —la gran mayoría de ellas situadas en otras galaxias y demasiado débiles para ser captadas por el *Hubble*— asciende a más de cien billones. El número de planetas distantes en esta minúscula porción de cielo es, sobre la base de las evidencias modernas, comparablemente enorme.

Cada una de estas galaxias gira, efectuando por lo general una rotación cada pocos cientos de millones de años. También están en movimiento unas respecto a las otras. Todo el cúmulo galáctico Coma, del cual la imagen muestra una porción minúscula, se mueve con respecto a otros cúmulos galácticos. Finalmente, todas las galaxias del cúmulo galáctico Coma se hallan colectivamente en expansión respecto a los demás cúmulos galácticos. Respecto al Grupo Local de galaxias —del cual forma parte la Vía Láctea—, el cúmulo galáctico Coma se aleja a unos siete mil kilómetros por segundo. Este es el movimiento denominado expansión del universo que se deriva del big bang.

Cedida por William A. Baum, Equipo WFPC1 del telescopio *Hubble* y NASA.

CAPÍTULO 3

LAS GRANDES DEGRADACIONES

Un filósofo afirmó que conocía el secreto... Examinó a los dos extranjeros celestiales de la cabeza a los pies y les espetó en plena cara que sus personas, sus mundos, sus soles y sus estrellas fueron creados únicamente para el uso de los hombres. Ante tal afirmación, nuestros dos viajeros se dejaron caer uno contra otro, tomados por un ataque de... risa incontrolable.
VOLTAIRE, *Micromegas. Una historia filosófica* (1752)

En el siglo XVII quedaba todavía alguna esperanza de que, aunque la Tierra no fuera el centro del universo, pudiera ser el único «mundo». Pero el telescopio de Galileo reveló que «la Luna no posee en modo alguno una superficie lisa y pulida» y que otros mundos podían tener «el mismo aspecto que la superficie de la Tierra». La Luna y los planetas dejaban constancia, sin lugar a dudas, de que tenían tanto derecho a ser considerados mundos como la Tierra, con sus montañas, cráteres, atmósferas, casquetes de hielo polar, nubes y, en el caso de Saturno, un deslumbrante e inédito conjunto de anillos circumplanetarios. Después de milenios de debate filosófico, el tema quedó definitivamente saldado en favor de «la pluralidad de mundos». Tal vez fueran profundamente distintos de nuestro planeta. Puede que ninguno de ellos fuera tan compatible con la vida. Pero, decididamente, la Tierra no era el único mundo.

Esta fue la siguiente en la serie de grandes degradaciones, de experiencias decepcionantes, de demostraciones de nuestra aparente insignificancia, heridas que la ciencia, en su búsqueda de confirmación a los hechos presentados por Galileo, infligió al orgullo humano.

De acuerdo, concedieron algunos, pero aunque la Tierra no se encuentre en el centro del universo, el Sol sí. El Sol es nuestro Sol. Así pues, la Tierra se halla aproximadamente en el centro del universo. Quizá de esta manera pudiera salvarse parte de nuestro orgullo. Sin embargo, en el siglo XIX la astronomía observacional había dejado bien claro que el Sol no es más que una estrella entre un enorme conjunto de soles autogravitatorios que recibe el nombre de galaxia Vía Láctea. Lejos de ocupar el centro de la galaxia, nuestro Sol, con su entorno de pálidos y minúsculos planetas, se encuentra ubicado en un sector indistinto de un oscuro brazo espiral. Nos encontramos a treinta mil años luz del centro.

De acuerdo. Pero entonces nuestra Vía Láctea es la única galaxia. La galaxia Vía Láctea es una entre miles de millones, quizá cientos de miles de millones de galaxias, y no se destaca ni por su dimensión ni por su brillo ni por cómo están

configuradas o dispuestas las estrellas que la conforman. Una fotografía moderna del fondo del cielo revela la existencia de más galaxias allende la Vía Láctea que estrellas dentro de la misma. Cada una de ellas constituye un universo isla que puede llegar a contener cien mil millones de soles. Una imagen así supone un profundo sermón sobre humildad.

De acuerdo. Pero entonces, por lo menos, nuestra galaxia se encuentra en el centro del universo. No, tampoco eso es cierto. Al principio, cuando se descubrió la expansión del universo, mucha gente asumió de forma natural la noción de que la Vía Láctea se hallaba en el centro de la expansión y todas las demás galaxias se alejaban de nosotros. Hoy sabemos que los astrónomos de cualquier otra galaxia verían también a todas las restantes alejándose de ellos; a menos que fueran muy meticulosos, todos concluirían que *ellos* se encuentran en el centro del universo. En realidad, la expansión *no* tiene centro, no hay punto de origen del big bang, al menos no en el espacio tridimensional ordinario.

De acuerdo. Pero entonces, aunque existan cientos de miles de millones de galaxias, cada una de ellas compuesta de miles de millones de estrellas, no hay otra estrella que tenga planetas. Si no existen otros planetas más allá de nuestro sistema solar, quizá no haya más vida que la humana en el universo. De ese modo, nuestra singularidad quedaría salvaguardada. Dado que los planetas son pequeños y brillan débilmente por el reflejo de la luz solar, son difíciles de encontrar. A pesar de que la tecnología aplicable progresa a una velocidad pasmosa, incluso un mundo gigante como Júpiter, orbitando alrededor de la estrella *más cercana,* Alfa Centauro, sería difícil de detectar. En nuestra ignorancia los geocentristas hallan esperanza.

Hubo una vez una hipótesis científica —no sólo fue bien recibida sino que llegó a ser predominante— que establecía que nuestro sistema solar se formó como consecuencia de una colisión cercana del antiguo Sol con otra estrella; la interacción de la marea gravitatoria arrancó emanaciones de polvo solar que se condensaron rápidamente formando planetas. Dado que el espacio se halla esencialmente vacío y las colisiones estelares cercanas son extraordinariamente raras, se llegó a la conclusión de que habían de ser muy pocos los demás sistemas planetarios existentes, quizá solamente uno, alrededor de esa otra estrella que mucho tiempo atrás cooriginó los mundos de nuestro sistema solar. En el curso de mis primeros estudios me sorprendió y decepcionó que alguna vez fuera tomada en serio una visión así, el hecho de que, en lo que hace referencia a planetas de otras estrellas, la ausencia de evidencia se considerara evidencia de ausencia.

Hoy en día contamos con una prueba bastante firme de la existencia de al menos tres planetas orbitando una estrella extremadamente densa, el pulsar clasificado como B 1257 + 12, sobre el cual volveré más adelante. Y hemos hallado, para más de la mitad de estrellas con masas similares a la del Sol, que al principio de sus vidas están rodeadas por grandes discos de gas y polvo a partir de los cuales parecen formarse los planetas. Otros sistemas planetarios son hoy un lugar común en el cosmos, quizá lo sean incluso mundos parecidos a la Tierra. En el transcurso de las próximas décadas deberíamos ser capaces de inventariar al menos los

planetas más grandes —si es que existen— de cientos de estrellas cercanas.

De acuerdo. Pero si nuestra posición en el espacio no nos atribuye un rol especial, nuestra posición en el tiempo sí: hemos estado presentes en el universo desde el principio (día más, día menos). *El Creador nos ha asignado unas responsabilidades especiales.* En otro tiempo parecía muy razonable pensar que el universo comenzó un poquito antes de que nuestra memoria colectiva quedara oscurecida por el paso del tiempo y la ignorancia de nuestros antepasados. Hablando en términos generales, hace de eso cientos o miles de años. Las religiones que implican una descripción del origen del universo suelen especificar —explícita o implícitamente— una fecha de origen aproximadamente de esa antigüedad, el aniversario del mundo.

Si sumamos las edades de todos los «patriarcas» que aparecen en el Génesis, por ejemplo, obtendremos la edad de la Tierra: seis mil años, poco más o menos. Ese es todavía el criterio de los fundamentalistas judíos, cristianos y musulmanes, y queda claramente reflejado en el calendario judío.

No obstante, un universo tan joven plantea una pregunta engorrosa: ¿Cómo es posible que existan objetos astronómicos a más de seis mil años luz de distancia? La luz tarda un año en cubrir un año luz, diez mil años en cubrir diez mil años luz, y así sucesivamente. Cuando observamos el centro de la galaxia Vía Láctea, la luz que detectamos abandonó su fuente treinta mil años atrás. La más cercana galaxia espiral como la nuestra, M 31, en la constelación de Andrómeda, se encuentra a dos millones de años luz de distancia, de modo que la estamos viendo cómo era cuando su luz inició el largo viaje hacia la Tierra, dos millones de años atrás. Y cuando contemplamos quasars que distan cinco mil millones de años luz, los estamos viendo tal como eran hace cinco mil millones de años, antes de que se formara la Tierra. (Hoy son, casi con certeza, muy diferentes.)

Si a pesar de todo ello hubiéramos de aceptar literalmente las verdades de esos libros sagrados, ¿cómo podríamos reconciliar los datos? La única conclusión plausible es, en mi opinión, que Dios se ha encargado recientemente de que todos los fotones de luz lleguen a la Tierra en un formato lo suficientemente coherente como para inducir a generaciones enteras de astrónomos a caer en el error de pensar que existen tales cosas como las galaxias y los quasars, conduciéndolos deliberadamente a la falsa conclusión de que el universo es vasto y antiguo. Se trata de una teología tan malévola, que todavía me cuesta creer que alguien —sea lo devoto que sea de la inspiración divina contenida en cualquier libro sagrado— pueda defenderla seriamente.

Aparte de eso, el fechado radiactivo de rocas, la abundancia de cráteres por impacto en muchos mundos, la evolución de las estrellas, así como la expansión del universo, proporcionan de por sí evidencias precisas e independientes de que nuestro universo tiene muchos miles de millones de años de edad, a pesar de las confiadas afirmaciones de reverenciados teólogos en el sentido de que un mundo tan antiguo contradice directamente la palabra de Dios y que, sea como fuere, la información referente a la antigüedad del mundo resulta inaccesible excepto para la fe.

San Agustín dice en *La ciudad de Dios:* «Como no han pasado seis mil años desde que el primer hombre... ¿no deben ser ridiculizados, más que rebatidos, los que tratan de convencernos de una antigüedad tan diferente, e incluso contraria, a la verdad establecida?... Nosotros, apoyados por la autoridad divina en la historia de nuestra religión, no tenemos duda de que todo lo que se opone a ella es falso en su mayor parte.» Tilda también de «mentira abominable» la antigua tradición egipcia que establece que el mundo tiene más de cien mil años. Santo Tomás de Aquino, en su *Suma teológica,* afirma categóricamente que «la antigüedad del mundo no puede ser demostrada por el propio mundo». Así de *seguros* estaban.

Dichas pruebas también deberían haber sido fabricadas por una deidad engañosa y maléfica, a menos que el mundo sea mucho más antiguo de lo que los literalistas de la religión judeocristiano-islámica suponen. Naturalmente, este problema no es tal para las muchas personas religiosas que manejan la Biblia y el Corán como guías históricas y morales y literatura sagrada, pero que reconocen que la perspectiva de dichas Escrituras en el mundo natural refleja lo rudimentario de la ciencia en la época en que fueron escritas.

Antes de que surgiera la Tierra transcurrió mucho tiempo. Y mucho tiempo transcurrirá antes de que se destruya. Es necesario efectuar una distinción entre la edad de la Tierra (alrededor de 4500 millones de años) y la edad del universo (unos quince mil millones de años desde el big bang). Del inmenso intervalo de tiempo entre el origen del universo y nuestra época, dos tercios se habían agotado con anterioridad a la formación de la Tierra. Algunas estrellas y sistemas planetarios son miles de millones de años más jóvenes, otros, miles de millones de años más viejos. Sin embargo en el Génesis, capítulo 1, versículo 1, el universo y la Tierra son creados el mismo día. La tradición hinduista-budista-jainista tiende a no confundir ambos acontecimientos.

Por lo que respecta a los seres humanos, somos recién llegados, aparecidos en el último instante del tiempo cósmico. La historia del universo hasta hoy había transcurrido en un 99,998% antes de que nuestra especie entrara en escena. Durante esa enorme extensión de eones no habríamos podido asumir ninguna responsabilidad especial sobre nuestro planeta, o nuestra vida o cualquier otra cosa. No estábamos aquí.

De acuerdo. Pero si no podemos encontrar nada especial acerca de nuestra posición o de nuestra época, quizá nuestro movimiento tenga algo especial. Newton y los demás físicos clásicos sostenían que la velocidad de la Tierra en el espacio constituía «un marco privilegiado de referencia». Así lo llamaron. Albert Einstein, un agudo crítico del prejuicio y el privilegio durante toda su vida, consideró esta física «absoluta» el remanente de un chauvinismo terrestre cada vez más desacreditado. En su opinión, las leyes de la Naturaleza deben ser las mismas independientemente de la velocidad o el punto de referencia del observador. Tomando esta máxima como base de partida, desarrolló la teoría especial de la relatividad. Sus consecuencias son extravagantes, violan la intuición y contradicen en gran medida el sentido común, pero solamente a velocidades muy elevadas. Observaciones rigurosas y repetidas demuestran que esta justamente celebrada teoría constituye una

descripción precisa de cómo está constituido el mundo. Las intuiciones de nuestro sentido común pueden ser erróneas. Nuestras preferencias no cuentan. No vivimos en un marco privilegiado de referencia.

Una consecuencia de la relatividad especial es la dilatación del tiempo, la deceleración del tiempo a medida que el observador se aproxima a la velocidad de la luz. Todavía hay quien opina que la dilatación del tiempo se da en relojes y partículas elementales y, presumiblemente, en ritmos circadianos y otros ritmos en plantas, animales y microbios, pero no en los relojes biológicos humanos. A nuestra especie le ha sido otorgada, se sugiere, una inmunidad especial frente a las leyes de la Naturaleza, la cual debe, en consecuencia, ser capaz de distinguir entre conjuntos de materia que las merecen y otros que no las merecen. (De hecho, la prueba que aportó Einstein de la relatividad especial no admite tales distinciones.) La idea de que los seres humanos constituyen excepciones a la relatividad parece otra encarnación de la noción de la creación especial.

De acuerdo. Pero aunque nuestra posición, nuestra edad, nuestro movimiento y nuestro mundo no sean únicos, quizá nosotros lo seamos. Nosotros somos distintos de los demás animales, Hemos sido creados de forma especial, la devoción particular del Creador del universo queda patente en nosotros. Esta postura fue apasionadamente defendida en el ámbito religioso y en otros. No obstante, a mediados del siglo XIX Charles Darwin demostró de manera convincente cómo una especie puede evolucionar hasta dar lugar a otra mediante procesos enteramente naturales, que llegan a rebajarse hasta la despiadada tarea de la Naturaleza de salvar las herencias que funcionan y descartar las que no lo hacen. «En su arrogancia, el hombre se considera una obra grandiosa, digna de la intervención de una deidad —escribió telegráficamente Darwin en su cuaderno de notas—. Es más humilde y, en mi opinión, más cierto considerarle creado a partir de los animales.» Las íntimas y profundas conexiones de la especie humana con otras formas de vida sobre la Tierra han sido irrebatiblemente demostradas a fines del siglo XX por la nueva disciplina científica de la biología molecular.

En cada época los chauvinismos autocomplacientes son puestos en tela de juicio en ámbitos distintos del debate científico; en este siglo, por ejemplo, ello ha ocurrido a raíz de diversas tentativas por comprender la naturaleza de la sexualidad humana, la existencia de la mente inconsciente y el hecho de que muchos trastornos psiquiátricos y «defectos» del carácter humano tienen un origen molecular. Pero, aun así:

De acuerdo. Pero incluso si estamos íntimamente relacionados con algunos de los demás animales, somos diferentes —no sólo en rango, sino en género— en lo que realmente interesa: raciocinio, autoconciencia, fabricación de herramientas, ética, altruismo, religión, lenguaje, nobleza de carácter. Si bien es cierto que los seres humanos, al igual que todos los animales, poseen características que los diferencian —de otro modo, ¿cómo podríamos distinguir una especie de otra?—, la singularidad humana se ha exagerado, en ocasiones enormemente. Los chimpancés razonan, son autoconscientes, fabrican herramientas, demuestran devoción, etcétera.

Chimpancés y seres humanos tienen un 99,6 % de sus genes activos en común. (Ann Druyan y yo examinamos esta evidencia en nuestro libro *Sombras de antepasados olvidados.*)

En la cultura popular se esgrime también la postura contraria, aunque también viene condicionada por el chauvinismo humano (y por un fracaso de la imaginación): los cuentos y dibujos animados infantiles presentan a los animales vestidos, viviendo en casas, comiendo con cuchillo y tenedor y hablando. Los tres ositos duermen en camas. La lechuza y el gatito salen a la mar en una bonita barca de color verde. La mamá dinosaurio mima a sus pequeños. Los pelícanos reparten el correo. Los perros conducen coches. Un gusano atrapa a un ladrón. Los animales domésticos llevan nombres humanos. Muñecas, cascanueces, tazas y platitos bailan y expresan opiniones. El plato se escapa con la cuchara. En la serie *Thomas the Tank Engine* aparecen incluso locomotoras y vagones de tren antropomórficos, exquisitamente diseñados. No importa lo que pensemos al respecto, tenemos tendencia a investirlo todo, animado o inanimado, con rasgos humanos. No podemos evitarlo. Las imágenes acuden de inmediato a nuestra mente. Es evidente que a los niños les encanta.

Cuando hablamos de la «ira» del cielo, la «agitación» del mar, la «resistencia» de los diamantes a ser tallados, la «atracción» que ejerce la Tierra sobre un asteroide cercano o la «excitación» de un átomo, de nuevo pensamos en una especie de visión animista del mundo. Estamos atribuyendo existencia real a objetos inertes. Algún nivel primitivo de nuestro pensamiento dota a la Naturaleza inanimada de vida, pasiones y premeditación.

La noción de que la Tierra tiene espíritu propio se ha desarrollado últimamente bajo los auspicios de la hipótesis de la «Gaya». No obstante, era una creencia común, tanto entre los antiguos griegos como entre los cristianos primitivos. Orígenes se preguntaba si «la Tierra es también, de acuerdo con su propia naturaleza, responsable de algún pecado». Muchos de los estudiosos antiguos pensaban que las estrellas estaban vivas, y esa era, asimismo, la postura de Orígenes, de san Ambrosio (el mentor de san Agustín) e incluso, de una forma más cualificada, de santo Tomás de Aquino. La postura filosófica de los estoicos acerca de la naturaleza del Sol fue resumida por Cicerón en el siglo I a. J.C.: «Puesto que el Sol se parece a los fuegos contenidos en los cuerpos de las criaturas vivientes, el Sol también debe de estar vivo.»

Existen algunas evidencias de que, en general, las actitudes animistas se están extendiendo en los últimos tiempos. En un estudio americano de 1954, el 75 % de las personas encuestadas estaban dispuestas a afirmar que el Sol no tiene vida; en 1989, en cambio, solamente el 30 % de los interrogados apoyaban tan arriesgada afirmación. A la pregunta de si una rueda de automóvil podía sentir, un 90 % respondieron en sentido negativo en 1954, pero ese porcentaje bajó a un 73 % en 1989.

Reconocemos en ello una disminución —bastante seria en algunas circunstancias— de nuestra habilidad para comprender el mundo. De forma

característica, nos guste o no, parecemos abocados a proyectar nuestra propia naturaleza sobre la Naturaleza. Si bien ello puede tener como consecuencia una seria distorsión en nuestra visión del mundo, conlleva una gran virtud: la proyección es una premisa esencial para la compasión.

De acuerdo, quizá no seamos gran cosa, puede que estemos humillantemente emparentados con los simios, pero por lo menos somos lo mejor que existe. Exceptuando a Dios y a los ángeles, somos los únicos seres inteligentes del universo. Un corresponsal me escribe lo siguiente: «Estoy tan seguro de esto como de que estoy vivo. No existe vida consciente en ninguna otra parte del universo.» Sin embargo, en parte gracias a la influencia de la ciencia y de la ciencia ficción, hoy la mayoría de la gente, al menos en Estados Unidos, rechaza tal afirmación por razones que, en esencia, estableció el filósofo griego antiguo Crisipo: «Para todo ser humano, pensar que en todo el mundo no hay nada superior a él supondría un acto de insana arrogancia.»

Pero el hecho es que hasta ahora no hemos encontrado vida extraterrestre. Cierto que nos hallamos en las primeras fases de búsqueda. La cuestión está todavía completamente abierta. Si yo tuviera que aventurar una opinión —especialmente teniendo en cuenta nuestra larga secuencia de fracasados chauvinismos—, diría que el universo está repleto de seres mucho más inteligentes, mucho más avanzados que nosotros. Naturalmente, podría equivocarme. Esta conclusión, en el mejor de los casos, está basada en un razonamiento de verosimilitud, derivado del número de planetas, de la ubicuidad de la materia orgánica, de las inmensas cantidades de tiempo disponibles para la evolución, etcétera. No se trata de una demostración científica. Este problema se cuenta entre los más fascinantes de toda la ciencia. Tal como describe este libro, estamos empezando a desarrollar las herramientas necesarias para abordarlo con seriedad.

¿Y qué hay del tema de si somos capaces de crear intelectos más perfectos que el nuestro? Los ordenadores solucionan rutinariamente problemas matemáticos que un ser humano no es capaz de afrontar sin ayuda, crean campeones mundiales en el juego de las damas y grandes maestros de ajedrez, hablan y comprenden el inglés y otros idiomas, escriben relatos y composiciones musicales presentables, aprenden de sus errores y pilotan de manera competente barcos, aviones y naves espaciales. Sus habilidades progresan constantemente. Cada vez son más pequeños, más rápidos y más baratos. Todos los años la marea del progreso científico gana terreno a las playas de la isla de la singularidad del intelecto humano, con sus náufragos fortificados. Si en un estadio tan temprano de nuestra evolución tecnológica hemos sido capaces de llegar tan lejos a la hora de crear inteligencia a partir de metal y silicona, ¿qué no será posible en las décadas y siglos por venir? ¿Qué ocurre cuando máquinas ingeniosas son capaces de fabricar máquinas aún más ingeniosas?

Quizá la indicación más clara de que la búsqueda de una inmerecida posición privilegiada para el ser humano no será nunca abandonada del todo reside en lo que en física se denomina el principio antrópico. Debería llamarse con mayor

propiedad el principio antropocéntrico. Se presenta bajo diversas formas. El principio antrópico «débil» establece solamente que si las leyes de la Naturaleza y las constantes físicas —tales como la velocidad de la luz, la carga eléctrica del electrón, la constante gravitacional de Newton o la constante de Planck en la mecánica cuántica— hubieran sido distintas, el curso de los acontecimientos que condujo al origen de la especie humana nunca se habría producido. Bajo otras leyes y constantes, los átomos no se fusionarían o las estrellas evolucionarían con tal rapidez que no dejarían tiempo suficiente para el desarrollo de la vida en los planetas cercanos o los elementos químicos que conforman la vida nunca habrían sido generados, y así sucesivamente.

No existe controversia acerca del principio antrópico débil: bastaría con modificar las leyes y constantes de la Naturaleza, de ser eso posible, para que emergiera un universo muy diferente, en muchos casos, un universo incompatible con la vida*.

El mero hecho de que existamos implica (aunque no impone) constreñimientos a las leyes de la Naturaleza. En contraste, los diversos principios antrópicos «fuertes» van mucho más allá; algunos de sus defensores llegan casi a la deducción de que las leyes de la Naturaleza y los valores de las constantes físicas fueron establecidos (mejor no preguntar cómo ni por quién) *para que,* con el tiempo, los seres humanos llegaran a existir. Casi todos los demás universos posibles, afirman, son inhabitables. De este modo, resucita la antigua noción de que el universo fue creado para nosotros.

A mí me recuerda al doctor Pangloss en el *Cándido* de Voltaire, convencido de que este mundo, con todas sus imperfecciones, es el mejor posible. Suena como si yo jugara mi primera mano de bridge, ganara y, aun sabiendo que existen 54 000 billones de billones (5,4 x 10 elevado a la ^{28}) de otras manos posibles que yo podía, con igual probabilidad, haber elegido... concluyera alocadamente que existe un dios del bridge que me favorece, un dios que ha amañado las cartas y la baraja predeterminando mi victoria desde el principio. Desconocemos cuántas otras manos ganadoras existen en la baraja cósmica, cuántos tipos de universos distintos, leyes de la Naturaleza y constantes físicas que también pueden producir vida e inteligencia y quizá, incluso, errores de «autoimportancia». Puesto que no sabemos prácticamente nada de cómo se creó el universo —ni incluso *si* fue creado—, resulta difícil desarrollar estas nociones de manera productiva.

Voltaire se preguntó: «¿Por qué existimos?» La formulación que Einstein dio a la cuestión fue preguntarse si Dios tuvo elección en el momento de crear el universo. Pero si el universo es infinitamente viejo —si el big bang que tuvo lugar unos

* Nuestro universo es *casi* incompatible con la vida, o al menos en lo que entendemos como necesario para la misma. Aunque una estrella entre un centenar de miles de millones de galaxias tuviera un planeta similar a la Tierra, en ausencia de medidas tecnológicas impresionantes la vida solamente podría prosperar aproximadamente en un 10% del volumen del universo. Para que quede bien claro, vale la pena escribirlo: solamente 0,0000000000000000000000000000000000001 de nuestro universo es compatible con la vida. Treinta y seis ceros antes del uno. El resto es negro vacío, frío y lleno de radiación.

quince mil millones de años atrás es solamente la cúspide más reciente en una serie infinita de contracciones y expansiones—, entonces nunca fue creado y la pregunta de por qué es como es no tiene ningún sentido.

Si, por otra parte, el universo tiene una edad finita, ¿por qué es como es? ¿Por qué no le fueron dadas unas características completamente distintas? ¿Qué leyes de la Naturaleza van asociadas a qué otras? ¿Existen metaleyes que especifiquen dichas conexiones? ¿Está en nuestras manos descubrirlas? De todas las leyes concebibles de la gravedad, por ejemplo, ¿cuáles tienen «permiso» para existir simultáneamente con qué leyes concebibles de la física cuántica que determinan la existencia misma de la materia macroscópica? ¿Son posibles todas las leyes que podamos imaginar o bien sólo un restringido número de ellas puede, de algún modo, llegar a existir? Está claro que no tenemos la más mínima idea de cómo determinar qué leyes de la Naturaleza son «posibles» y cuáles no. Tampoco tenemos más que una noción extremadamente rudimentaria de qué correlaciones de las leyes naturales están «permitidas».

Por ejemplo, la ley de la gravedad universal de Newton especifica que la fuerza gravitacional mutua que atrae a dos cuerpos entre sí es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ambos. Si nos desplazamos a doble distancia del centro de la Tierra, pesaremos un cuarto menos; si nos desplazamos diez veces más lejos, pesaremos solamente una centésima parte de nuestro peso ordinario; y así sucesivamente. Es esta ley del cuadrado inverso la que da lugar a las delicadas órbitas circulares y elípticas de los planetas alrededor del Sol, y de las lunas alrededor de los planetas, así como a la precisión de las trayectorias de nuestros vuelos interplanetarios. Si r equivale a la distancia entre los centros de dos masas, decimos que la fuerza gravitacional varía en la relación de $1/r^2$.

Pero si este exponente fuera distinto —si la ley de la gravedad fuera $1/r^4$, pongamos por caso, en lugar de $1/r^2$—, las órbitas no llegarían a cerrarse; durante miles de millones de revoluciones los planetas se irían moviendo en espiral hacia dentro hasta ser consumidos en las feroces profundidades del Sol, o bien lo harían hacia afuera y se perderían en la inmensidad del espacio interestelar. Si el universo estuviera gobernado por una ley de la cuarta potencia inversa en lugar de una ley del cuadrado inverso, pronto no quedarían planetas que pudieran habitar los seres vivientes.

Así pues, con todas las leyes de la fuerza de la gravedad posibles, ¿cómo somos tan afortunados de vivir en un universo que presenta una ley compatible con la vida? En primer lugar, naturalmente, somos tan «afortunados», porque si no lo fuéramos no estaríamos aquí para plantear la cuestión. No es ningún misterio que seres inquisitivos que se desarrollan sobre planetas solamente pueden ser hallados en universos que admitan la existencia de planetas. En segundo lugar, la ley del cuadrado inverso *no es* la única compatible con la estabilidad a lo largo de miles de millones de años. Cualquier ley potencial menos pronunciada que $1/r^3$ ($1/r^{2.99}$ o $1/r$, por ejemplo) mantendrá a un planeta en la *proximidad* de una órbita circular, incluso aunque reciba algún impacto. Tenemos tendencia a pasar por alto la

posibilidad de que otras leyes concebibles de la Naturaleza sean también compatibles con la vida.

Pero hay otro matiz. No es arbitrario que tengamos una ley del cuadrado inverso de la gravedad. Cuando tomamos la teoría de Newton en los términos más amplios de la teoría de la relatividad general, reconocemos que el exponente de la ley de la gravedad es dos porque el número de dimensiones físicas en las que vivimos es tres. No todas las formas de la ley de la gravedad están disponibles para someterse a la elección de un Creador. Incluso dado un número infinito de universos tridimensionales para que un dios grandioso los maneje a su antojo, la ley de la gravedad siempre habría de ser la ley del cuadrado inverso. La gravedad newtoniana, podríamos decir, no es una faceta casual sino necesaria de nuestro universo.

En la relatividad general, la gravedad es *debida* a la dimensionalidad y a la curvatura del espacio. Cuando hablamos de gravedad, hablamos de irregularidades locales en el espacio-tiempo. Ello no resulta obvio en absoluto, sino que más bien contradice nociones de sentido común. Pero, analizadas en profundidad, las ideas de gravedad y masa no son cuestiones separadas, más bien son ramificaciones de la misma geometría subyacente del espacio-tiempo.

Me pregunto si algo de este estilo no podría aplicarse en general a todas las hipótesis antrópicas. Las leyes o constantes físicas de que depende nuestra vida forman parte de una categoría, quizá incluso de una amplia categoría, de leyes y constantes físicas, algunas de las cuales son también compatibles con algún tipo de vida. A menudo no investigamos (o no está en nuestras manos averiguar) lo que permiten esos otros universos. Aparte de eso, puede que no toda elección arbitraria de una ley de la Naturaleza o de una constante física sea posible, ni siquiera para un creador de universos. Nuestra comprensión acerca de qué leyes de la Naturaleza y qué constantes físicas se hallan disponibles es, en el mejor de los casos, fragmentaria.

Además, no tenemos acceso a ninguno de esos universos putativos alternativos. No contamos con ningún método experimental para poner a prueba las hipótesis antrópicas. Aunque la existencia de dichos universos hubiera de ser firmemente constatada empleando teorías probadas —por ejemplo, la de la mecánica cuántica o de la gravedad—, no podríamos estar seguros de que no hubiera teorías mejores que postularan que no existen universos alternativos. Hasta que llegue ese día, si es que ha de llegar alguna vez, me parece prematuro confiar en el principio antrópico como argumento en favor de la centralidad y singularidad de la especie humana. Hay algo sorprendentemente obtuso en la formulación del Principio Antrópico. En efecto, solamente determinadas leyes y constantes de la Naturaleza son compatibles con nuestra clase de vida. Pero, en esencia, son necesarias las mismas leyes y constantes para formar una roca. Así pues, ¿por qué no hablar de un universo diseñado para que, al cabo del tiempo, puedan llegar a existir las rocas, y de principios líticos débiles y fuertes? Si las piedras pudieran filosofar, supongo que los principios líticos serían considerados el no va más de la

intelectualidad.

Y, finalmente, aunque el universo hubiera sido creado intencionadamente para dar lugar a la emergencia de seres vivientes o inteligentes, puede haberlos en incontables mundos. De ser así, constituiría un consuelo de tontos para antropocentristas pensar que habitamos uno de los pocos universos que permiten la vida y la inteligencia.

Hoy en día se están formulando modelos cosmológicos en los que ni siquiera el conjunto del universo es considerado algo especial. Andrei Linde, en otros tiempos en el Instituto Físico Lebedev, en Moscú, y que actualmente trabaja en la Universidad de Stanford, ha incorporado la interpretación común de las fuerzas nucleares fuertes y débiles a un nuevo modelo cosmológico. Linde imagina un cosmos vastísimo, más grande que nuestro universo —quizá extendiéndose hasta el infinito, tanto en el espacio como en el tiempo—, no los despreciables quince mil millones de años luz de radio y los quince mil millones de años de edad que se le atribuyen por norma general. En ese cosmos existe, como en el nuestro, una especie de espuma cuántica en la que por todas partes se forman, reforman y disipan unas estructuras minúsculas, mucho más pequeñas que un electrón; en dicho cosmos, como aquí, las fluctuaciones en un espacio completamente vacío crean pares de partículas elementales, un electrón y un positrón, por ejemplo. En el seno de esa espuma de burbujas de cuanto, la gran mayoría de ellas permanecen en un estadio submicroscópico. No obstante, una ínfima fracción de las mismas se infla, crece y adquiere una universalidad respetable. Pero se encuentran tan lejos de nosotros —mucho más alejadas que los quince mil millones de años luz que constituyen la escala convencional de nuestro universo— que, si existen, resultan completamente inaccesibles e indetectables.

Muchos de esos otros universos alcanzan un tamaño máximo y luego se colapsan, se contraen hasta quedar reducidos a un punto y luego desaparecen para siempre. Otros pueden oscilar. Y aun hay otros que pueden expandirse sin límite. En universos distintos habrá leyes de la Naturaleza diferentes. Nosotros vivimos, argumenta Linde, en uno de esos universos, un universo donde la física es compatible con crecimiento, inflamiento, expansión, galaxias, estrellas, mundos, vida. Imaginamos que nuestro universo es único, pero no es más que uno entre un número inmenso —quizá infinito— de universos igualmente válidos, igualmente independientes, igualmente aislados. En algunos habrá vida, en otros no. De acuerdo con esta visión[*], el universo observable no es más que un confín recién formado de un cosmos mucho más vasto, infinitamente viejo y enteramente inobservable. Si algo de eso es cierto, incluso nuestro orgullo residual —descolorido como debe de estar— de vivir en el único universo existente nos es negado.

[*] Para expresar ideas así, las palabras tienden a fallarnos. El término alemán para designar el universo es *(das) All* (el Todo), que deja bien patente la inclusividad. Podríamos decir que nuestro universo no es más que uno en un «multiverso», pero yo prefiero emplear la palabra «cosmos» para el todo y «universo» para el único que podemos conocer.

Puede que algún día, a despecho de la evidencia común, llegue a diseñarse un medio para penetrar en universos adyacentes, con unas leyes de la naturaleza muy diferentes, y entonces veremos qué otras cosas son posibles. O quizá habitantes de dichos universos puedan llegar a alcanzar el nuestro. Naturalmente, con este tipo de especulaciones hemos transgredido ampliamente los límites del conocimiento. Pero si algo parecido al cosmos de Linde es cierto, sorprendentemente nos aguarda todavía otra desprovincialización devastadora.

Nuestros poderes se hallan lejos de ser los apropiados para crear universos en un futuro próximo. Las ideas del principio antrópico fuerte no pueden ser demostradas (si bien la cosmología de Linde sí contiene algunos rasgos demostrables). Dejando aparte la vida extraterrestre, si las pretensiones autocomplacientes de centralidad se han atrincherado hoy en bastiones empíricamente impenetrables, entonces toda la secuencia de batallas científicas contra el chauvinismo humano parece, al menos en gran medida, ganada.

La antigua visión, tal como la resume el filósofo Immanuel Kant, de que «sin el hombre... toda la Creación no sería más que un desierto, un acto en vano que no tendría finalidad última», se revela como un disparate de autoindulgencia. Un Principio de Mediocridad parece aplicable a todas nuestras circunstancias. No podíamos saber de antemano que la evidencia se revelaría, de forma tan repetida y convincente, incompatible con la noción de que los seres humanos ocupamos un lugar central en el universo. Pero hoy la mayoría de los debates se han decantado decisivamente en favor de una postura que, aunque nos resulte penosa de aceptar, puede resumirse en una sola frase: no nos ha sido otorgado el papel principal en el drama cósmico.

Quizá se lo hayan dado a otros. Tal vez a nadie. En cualquier caso, tenemos buenas razones para ser humildes.

CAPÍTULO 4

EL UNIVERSO NO SE HIZO PARA NOSOTROS

El Mar de la Fe
estuvo también, en su día, lleno hasta los topes,
y se mecía a lo largo de la orilla terrestre
como los pliegues de una brillante banda ondulada.
Pero ahora oigo solamente
su largo, melancólico y lejano rugido,
al retirarse en pos del aliento del viento nocturno,
al descender por los vastos márgenes del mundo
lóbregos y desnudos guijarros.
MATTHEW ARNOLD, «Dover Beach» (1867)

«¡Qué bonito crepúsculo!», exclamamos, o bien «Me levanto antes del amanecer». No importa lo que afirmen los científicos, en el lenguaje cotidiano solemos ignorar sus hallazgos. No decimos que la Tierra gira, sino que el Sol sale y se pone. Tratemos de formularlo en términos copernicanos. ¿Diríamos acaso: «Billy, estarás de vuelta en casa cuando la Tierra haya rotado lo suficiente como para ocultar al Sol bajo el horizonte local»? Billy se habría marchado mucho antes de que hubiéramos terminado de hablar. No hemos sido capaces de dar con una frase elegante que transmita apropiadamente el discernimiento heliocéntrico. La idea* de que nosotros nos hallamos en el centro y todo lo demás gira a nuestro alrededor se ha incorporado a nuestras lenguas y la enseñamos a nuestros hijos. Somos geocentristas retrógrados, ocultos bajo un barniz copernicano.

En 1633 la Iglesia católica romana condenó a Galileo por postular que la Tierra gira alrededor del Sol. Vale la pena analizar la famosa controversia con mayor atención. En el prefacio del libro donde comparaba ambas hipótesis —la de la Tierra en el centro del Universo y la que atribuye ese lugar al Sol—, Galileo escribe:

> Los fenómenos celestes serán analizados reforzando la hipótesis copernicana, hasta que quede claro que ésta debe triunfar de forma absoluta.

Y más adelante, en su libro, confiesa:

---

* Una de las pocas expresiones casi-copernicanas en inglés y en castellano es: «El universo no gira a *tu* alrededor», una verdad astronómica que pretende hacer bajar de nuevo a la Tierra a narcisistas novatos.

> Nunca podré admirarlos lo suficiente [a Copérnico y sus seguidores]; mediante pura fuerza del intelecto riñeron hasta tal punto con su sentido común como para preferir lo que les dictaba la razón a lo que la experiencia responsable les mostraba claramente.

En el auto de acusación de Galileo, la Iglesia declaró:

> La doctrina de que la Tierra no se halla en el centro del universo ni está inmóvil sino que gira, incluso en una rotación diaria, es absurda; es falsa desde el punto de vista psicológico y teológico y constituye, cuando menos, una ofensa a la fe.

Galileo respondió:

> Se condena la doctrina que postula que la Tierra se mueve y el Sol está fijo, porque las Escrituras mencionan en muchos pasajes que el Sol se mueve y la Tierra permanece fija... Afirman los piadosos que las Escrituras no pueden mentir. Pero nadie negará que con frecuencia son abstrusas y su verdadero significado difícil de comprender; su importancia va más allá de las meras palabras. Opino que, en la discusión de los problemas naturales, no deberíamos empezar por las Escrituras, sino por los experimentos y las demostraciones.

No obstante, en su retractación (22 de junio de 1633), Galileo fue obligado a afirmar:

> Habiendo sido amonestado por el Sagrado Oficio para que abandone por completo la falsa opinión de que el Sol se halla en el centro del universo y está inmóvil y de que la Tierra no ocupa el centro del mismo sino que se mueve... he sido... sospechoso de herejía, es decir, de haber manifestado y creído que el Sol es el centro del universo y está fijo, y que la Tierra no ocupa el centro del mismo sino que gira... Yo abjuro con toda sinceridad y con genuina fe, execro y detesto los mismos pecados y herejías y, en general, todas y cada una de las ofensas y sectas contrarias a la Santa Iglesia católica.

Hasta 1832 la Iglesia no consintió en borrar el trabajo de Galileo de la lista de libros cuya lectura quedaba prohibida a los católicos bajo riesgo de horrendos castigos para sus inmortales almas.

El desasosiego pontificio frente a la ciencia moderna ha subido y bajado como la marea desde los tiempos de Galileo. Las aguas llegaron al nivel más alto de la historia reciente en el año 1864, con el *Syllabus errorum* de Pío IX, el Papa que convocó también el Concilio Vaticano, en el cual, por primera vez y ante su insistencia, fue proclamada la doctrina de la infalibilidad papal. He aquí algunos pasajes:

> La revelación divina es perfecta y, por ello, no está sujeta a un progreso continuo e indefinido a fin de equipararla con el progreso humano... Ningún hombre es libre de abrazar y profesar la religión que crea verdadera, guiado por la luz de la razón... La Iglesia tiene poder para definir dogmáticamente que la religión de la Iglesia católica es la única religión verdadera... Es necesario, incluso en el día de hoy, que la religión católica sea considerada la única religión del Estado, excluyendo todas las demás

> formas de devoción... La libertad civil para elegir el tipo de fe y la concesión de poder absoluto a todos para manifestar abierta y públicamente sus ideas y opiniones conduce con mayor facilidad a la corrupción moral y mental de las personas... El Pontífice romano no puede ni debe reconciliarse ni estar de acuerdo con el progreso, el liberalismo y la civilización moderna.

En aras de su buen nombre, si bien con retraso y a regañadientes, en 1992 la Iglesia repudió su denuncia de Galileo. Sin embargo, todavía hoy no se resigna del todo a reconocer la importancia que revistió en su día la oposición que ejerció. En un discurso de 1992, el Papa Juan Pablo II adujo:

> Desde los comienzos de la época de la Ilustración hasta nuestros días, el caso de Galileo ha constituido una especie de «mito», en torno al cual la imagen fabricada de los acontecimientos se ha alejado bastante de la realidad. En esta perspectiva, el caso de Galileo fue un símbolo del supuesto rechazo, por parte de la Iglesia católica, del progreso científico, o bien del «oscurantismo» dogmático opuesto a la libre búsqueda de la verdad.

No obstante, sin duda el hecho de que la Santa Inquisición condujera al anciano y enfermizo Galileo a inspeccionar los instrumentos de tortura en las mazmorras de la Iglesia no solamente admite, sino que requiere con justicia una interpretación así. No se trataba de cautela y reserva frente a la ciencia, de renuencia a cambiar de paradigma hasta disponer de evidencias probadas, como en el caso del paralaje anual. Era puro temor a la discusión y al debate. La censura de visiones alternativas y la amenaza de torturar a sus defensores revelan una falta de fe en la propia doctrina y los mismos feligreses que ostensiblemente están siendo protegidos. ¿Para qué habían de servir las amenazas y el arresto domiciliario de Galileo? ¿Acaso no puede la verdad defenderse a sí misma en su confrontación con el error?

A pesar de ello, el Papa añade:

> El error de los teólogos de la época al defender la centralidad de la Tierra residió en pensar que nuestra comprensión de la estructura física del mundo nos venía impuesta, en cierto modo, por el sentido literal de las Sagradas Escrituras.

Con ello, verdaderamente, se ha efectuado un progreso considerable, a pesar de que los defensores de doctrinas fundamentalistas quedarán angustiados al escuchar de boca del Pontífice que las Sagradas Escrituras no siempre son literalmente ciertas.

Pero si lo que contiene la Biblia no es verdad punto por punto, ¿qué partes son fruto de la inspiración divina y cuáles son meramente falibles y humanas? Además, si admitimos que las Escrituras contienen errores (o concesiones a la ignorancia de los tiempos), entonces ¿cómo puede ser la Biblia una guía infalible para la ética y la moral? ¿Deberán, a partir de ahora, las sectas y los individuos aceptar como auténticas las partes de la Biblia que más les gusten y rechazar aquellas que no les convengan o les resulten onerosas? La prohibición de matar,

por ejemplo, es esencial para que una sociedad pueda funcionar, pero si se llegara a considerar improbable el castigo divino por dicho pecado, ¿no habría más gente que pensara que podía salir indemne de dicho delito?

Eran muchos los que opinaban que Copérnico y Galileo no hacían nada bueno y por contra erosionaban el orden social. Ciertamente, cualquier cuestionamiento, proceda de donde proceda, de la verdad literal de la Biblia podría acarrear este tipo de consecuencias. Así pues, queda claro cómo empezó la ciencia a poner nerviosa a la gente. En lugar de criticar a aquellos que perpetuaban los mitos, el rencor público se dirigió hacia quienes los desacreditaban.

Nuestros antepasados concebían los orígenes extrapolando a partir de su propia experiencia. ¿Cómo iban a hacerlo de otro modo? Así pues, el universo surgió de un huevo cósmico o fue concebido mediante el ayuntamiento carnal de una diosa madre y un dios padre o bien fue un producto manufacturado en los talleres de Dios, quizá el último de un sinnúmero de intentos fracasados. Y el universo no era mucho más grande de lo que vemos, ni mucho más viejo de lo que alcanzan nuestros registros escritos y orales, ni demasiado distinto en ninguna de sus partes de los lugares que conocemos.

En nuestras cosmologías hemos tenido tendencia a plasmar las cosas de tal modo que nos resultaran familiares. A pesar de todos nuestros esfuerzos, no hemos hecho gala de mucha inventiva. En Occidente, el cielo es plácido y confortable y el infierno es parecido al interior de un volcán. En muchas historias ambos reinos se hallan gobernados por jerarquías dominantes, encabezadas por dioses y demonios. Los monoteístas hablaban del Rey de Reyes. En cada cultura hemos imaginado algo parecido a nuestro propio sistema político dirigiendo el universo. Pocos encontraron sospechosa dicha semejanza.

Luego llegó la ciencia y nos enseñó que nosotros no somos la medida de todas las cosas, que existen maravillas jamás imaginadas, que el universo no está obligado a ajustarse a lo que nosotros consideramos cómodo o plausible. Algo hemos aprendido acerca de la naturaleza idiosincrática de nuestro sentido común. La ciencia ha encaramado a la autoconciencia humana a un nivel más elevado. Se trata sin duda de un rito de paso, un paso hacia la madurez. Contrasta severamente con la puerilidad y narcisismo de nuestras nociones precopernicanas.

Pero ¿por qué hemos de empeñarnos en pensar que el universo fue hecho para nosotros? ¿Por qué resulta tan atractiva esa idea? ¿Por qué seguimos alimentándola? ¿Es tan precaria nuestra autoestima que no podemos conformarnos con nada inferior a un universo hecho a nuestra medida?

Naturalmente, la cuestión apela a nuestra vanidad. «Lo que un hombre desea, también lo imagina como cierto», dijo Demóstenes. «La luz de la fe nos hace ver lo que creemos», admitió alegremente santo Tomás de Aquino. No obstante, yo creo que debe de haber algo más. Entre los primates se da una especie de etnocentrismo. Desarrollamos amor y lealtad apasionados hacia el grupo en el que nacemos, por pequeño que éste sea. Los miembros de otros grupos no llegan a ser dignos ni de desprecio, y merecen nuestro rechazo y hostilidad. El hecho de que

ambos grupos pertenezcan a la misma especie, que sean prácticamente indistinguibles a los ojos de un observador externo, no tiene ninguna importancia. Ese es sin duda el modelo vigente entre los chimpancés, nuestros parientes más cercanos del reino animal. Ann Druyan y yo describimos cómo esta manera de concebir el mundo pudo tener un enorme sentido evolutivo hace algunos millones de años, a pesar de lo peligrosa que se ha vuelto en la actualidad. Incluso los miembros de tribus de cazadores y recolectores —tan alejados de las hazañas tecnológicas de nuestra civilización global actual— describen solemnemente a su pequeño grupo, sea el que sea, como «la gente». Todos los demás son diferentes, ni siquiera llegan a humanos.

Si es ésta nuestra forma natural de contemplar el mundo, no debe sorprendernos que cada vez que formulamos una opinión ingenua acerca de nuestro lugar en el universo —un juicio que no haya sido moderado por un cuidadoso y escéptico análisis científico— optemos casi siempre por la centralidad de nuestro grupo y circunstancia. Por si fuera poco, queremos creer que ésos son los hechos objetivos, y no nuestros prejuicios que buscan un desahogo sancionado.

Así pues, no debe hacer mucha gracia escuchar incesantemente a una cuadrilla de científicos arengándonos con afirmaciones del tipo: «Somos de lo más común, no tenemos importancia, nuestros privilegios son inmerecidos, no somos nada especial.» Al poco tiempo, incluso las personas más pacíficas podrían irritarse por causa del conjuro y con aquellos que insisten en pronunciarlo. Casi parece como si los científicos obtuvieran una rara satisfacción en el desaire de la especie humana. ¿Por qué no encuentran algún modo de presentarnos como superiores? ¡Que eleven nuestra moral! ¡Que nos exalten! En esta clase de debates, la ciencia, con su *mantra* de desánimo, se nos antoja fría y remota, desapasionada, indiferente, insensible a las necesidades humanas.

Y, de nuevo, si no somos importantes, ni centrales, ni somos «la niña de los ojos» de Dios, ¿qué implica eso para nuestros códigos morales fundados en la teología? El descubrimiento de nuestro verdadero valor en el cosmos se vio frustrado durante tanto tiempo y hasta tal punto que muchos vestigios de aquel debate todavía persisten y, en ocasiones, han salido a la luz los motivos de los geocentristas. He aquí, por ejemplo, un revelador comentario, sin firma, aparecido en la revista británica *The Spectator* en el año 1892:

> Es del todo cierto que el descubrimiento del movimiento helio céntrico de los planetas, que relegó a la Tierra a su adecuada «insignificancia» en el sistema solar, tuvo gran influencia en la reducción a una «insignificancia» similar —aunque muy lejos de ser apropiada— de los principios morales por los cuales se habían guiado y moderado hasta entonces las razas predominantes de la Tierra. Parte de ese efecto fue debido, sin duda, a la evidencia que proporcionó el hecho de que la ciencia física de diversos e inspirados autores fuese errónea en lugar de ser infalible, una convicción que socavó también, indebidamente, la confianza que se tenía en sus enseñanzas morales y religiosas. Sin embargo, buena parte de ello es únicamente atribuible a la sensación de «irrelevancia» con que el hombre se ha contemplado a sí mismo desde que descubrió que no habita más que un oscuro rincón del universo,

> en lugar de un mundo central alrededor del cual giran el Sol, la Luna y las estrellas. No puede caber duda de que el hombre puede sentirse, y se ha sentido a menudo, demasiado insignificante para ser objeto de cualquier enseñanza o cuidado divino particular. Si contempláramos la Tierra como una especie de hormiguero, y la vida y la muerte de los seres humanos como la vida y la muerte de tantas hormigas que entran y salen de un sinfín de agujeros en busca de comida y luz solar, a buen seguro no otorgaríamos la importancia adecuada a las tareas de la vida humana y asociaríamos al esfuerzo humano un profundo fatalismo y desesperanza, en lugar de abordarlo con esperanza renovada.

> Al menos por el momento, nuestros horizontes son lo suficientemente amplios...; hasta que logremos habituarnos a los infinitos horizontes con que ya contamos, y no perdamos con tanta frecuencia el equilibrio al contemplarlos, es prematuro anhelar horizontes más amplios.

¿Qué buscamos realmente en la filosofía y la religión? ¿Paliativos? ¿Terapia? ¿Consuelo? ¿Buscamos fábulas tranquilizadoras o la comprensión de nuestras circunstancias reales? Consternarnos porque el universo no se ajusta a nuestras preferencias parece una puerilidad. Uno podría pensar que los adultos se sentirían avergonzados de publicar sus frustraciones. La forma elegante de hacerlo no pasa por echar la culpa al universo —lo cual realmente no tiene ningún sentido—, sino que más bien habría que echarla al medio a través del cual conocemos el universo, es decir, la ciencia.

En el prólogo a su obra *Santa Juana,* George Bernard Shaw describió a la ciencia como disciplina que abusa de nuestra credulidad, nos impone una visión extraña del mundo, intimida a la religión:

> En la Edad Media, la gente creía que la Tierra era plana, para lo cual contaban al menos con la evidencia que les proporcionaban los sentidos: nosotros creemos que es redonda, y no porque un nimio uno por ciento de entre nosotros pueda aducir las razones de la física que explican tan peregrina creencia, sino porque la ciencia moderna nos ha convencido de que nada de lo que parece obvio es cierto, y de que todo lo mágico, improbable, extraordinario, gigantesco, microscópico, despiadado o atroz es científico.

Un ejemplo más reciente y muy instructivo lo constituye la obra *Understanding the Present: Science and the Soul of Modern Man* («Comprender el presente: la ciencia y el alma del hombre moderno») de Bryan Appleyard, un periodista británico. Este libro alude explícitamente a lo que muchas personas en todo el mundo piensan, pero no se atreven a decir. El candor de Appleyard resulta refrescante. El es un verdadero creyente y no permitirá que quitemos importancia a las contradicciones entre la ciencia moderna y la religión tradicional:

«La ciencia nos ha arrebatado nuestra religión», se lamenta. ¿Y qué clase de religión es la que anhela? Una religión en la que «la raza humana era el centro, el corazón, la causa final de todo el sistema. Colocaba definitivamente nuestro yo sobre el mapa universal... Nosotros éramos la finalidad, el objetivo, el eje racional

alrededor del cual giraban los grandes armazones etéreos». Añora «el universo de la ortodoxia católica», en el cual «el cosmos es presentado como una máquina construida alrededor del drama de la salvación»; con ello Appleyard hace referencia al hecho de que, a pesar de las órdenes explícitas en el sentido contrario, un hombre y una mujer comieron un día de una manzana, y ese acto de insubordinación transformó el universo en un dispositivo para el condicionamiento operante de sus descendientes remotos.

En contraste, la ciencia moderna «nos presenta como casualidades. Somos causados por el cosmos pero no somos la causa del mismo. El hombre moderno a la postre no es nada, no tiene ningún papel en la creación». La ciencia es «espiritualmente corrosiva, reduce a cenizas a las autoridades y tradiciones antiguas. No puede, en verdad, coexistir con ninguna otra cosa... La ciencia, silenciosa e inexplícitamente, nos está persuadiendo para que abandonemos nuestra identidad propia, nuestro verdadero yo... Los seres humanos no podemos vivir con semejante revelación. La única moralidad que nos queda es la de la mentira consoladora». Cualquier cosa antes que luchar con la insoportable carga de sabernos insignificantes.

En un pasaje con reminiscencias de Pío IX, Appleyard llega a condenar el hecho de que «una democracia moderna tenga la potestad de admitir la coexistencia de una serie de doctrinas religiosas contradictorias, que sí deben coincidir en un cierto, aunque limitado, número de preceptos generales, pero nada más. No les está permitido prender fuego a los lugares recíprocos de culto, pero pueden negar e incluso abusar de su respectivo Dios. Ésta es la forma efectiva, científica de proceder».

Pero ¿qué alternativa nos queda? ¿Fingir obstinadamente la certidumbre en un mundo incierto? ¿Adoptar un credo reconfortante, dejando de lado el grado en que éste pueda diferir de los hechos? Por razones prácticas, no podemos permitirnos vivir demasiado de la fantasía. ¿Acaso debemos censurarnos mutuamente nuestras religiones y quemarnos unos a otros nuestros lugares de culto? ¿Cómo podemos saber cuál de entre los miles de credos humanos debe convertirse en el sistema indisputable, ubicuo, obligatorio?

Estas citas delatan un ataque de nervios ante la grandeza y magnificencia del universo, pero especialmente ante su indiferencia. La ciencia nos ha enseñado que, como tenemos gran talento para decepcionarnos a nosotros mismos, puede que la subjetividad no llegue a reinar libremente. Ése es uno de los motivos por los que Appleyard desconfía tanto de la ciencia: parece demasiado razonada, mesurada e impersonal. Sus conclusiones se derivan de interrogar a la Naturaleza, y no en todos los casos están prediseñadas para satisfacer nuestros deseos. Appleyard deplora la moderación. Suspira por una doctrina infalible, liberada del ejercicio del juicio, y por la obligación de creer sin cuestionar. No ha comprendido la falibilidad humana. No reconoce la necesidad de institucionalizar la maquinaria del error-corrección ni en nuestras instituciones sociales ni en nuestra visión del universo.

Es el grito angustiado del bebé cuando los padres no acuden a su lado. Pero la

mayoría de las personas acaban haciendo frente a la realidad, y también a la dolorosa ausencia de unos progenitores, que siempre son garantía de que nada malo va a ocurrir a los pequeños mientras éstos hagan lo que se les manda. A la larga, la mayoría encuentra el modo de adaptarse al universo, especialmente cuando les son proporcionados los instrumentos para pensar correctamente.

«Lo único que les legamos a nuestros hijos» en la era de la ciencia, se lamenta Appleyard, «es la convicción de que nada es verdadero, decisivo o perdurable, incluyendo la cultura que les ha visto nacer». Cuánta razón tiene en lo que se refiere a la insuficiencia de nuestro legado. Pero ¿lograríamos enriquecerlo añadiéndole certidumbres sin base? Él desdeña «la esperanza piadosa de que la ciencia y la religión son dominios independientes que pueden separarse con facilidad». Por el contrario, «la ciencia, tal como la conocemos hoy, no es en absoluto compatible con la religión».

Pero, en realidad, ¿no nos está diciendo Appleyard que algunas religiones tienen hoy dificultades para efectuar pronunciamientos indisputables acerca de la naturaleza del mundo que sean completamente falsos? Nosotros admitimos que incluso los líderes religiosos más reverenciados, productos de su época tal como nosotros lo somos de la nuestra, pudieron cometer errores. Las religiones se contradicen unas a otras, tanto en temas menores —tales como si debemos ponernos sombrero para entrar en un lugar de culto o bien quitárnoslo o si es conveniente comer cordero y abstenerse de comer cerdo o al revés— como en las cuestiones fundamentales, como la de no tener dioses, adorar a un solo Dios o a muchos.

La ciencia nos ha llevado, a muchos de nosotros, al estado en que Nathaniel Hawthorne encontró a Herman Melville: «No es capaz ni de creer ni de sentirse cómodo sin creer.» O a Jean-Jacques Rousseau: «No me habían convencido, pero me habían alterado. Sus argumentos me estremecieron sin llegar nunca a convencerme... Es duro abstenerse de creer lo que uno desea tan profundamente.» Cuando los sistemas de creencias propugnados por las autoridades seculares y religiosas se ven socavados, en general es probable que se erosione el respeto por la autoridad. La lección es clara: incluso los líderes políticos deben ser precavidos a la hora de abrazar una doctrina falsa. Ese no es un defecto de la ciencia, sino una de sus virtudes.

Naturalmente, el consenso en lo que respecta a la visión del mundo es alentador, en tanto que el conflicto de opiniones puede resultar inquietante y exigirnos un mayor esfuerzo. Pero a menos que insistamos, en contra de toda evidencia, en que nuestros antepasados eran perfectos, el avance en el conocimiento requerirá que deshilemos y luego volvamos a hilar el consenso que ellos establecieron.

En algunos aspectos la ciencia ha superado ampliamente a la religión en lo que a provocar pavor se refiere. ¿Cómo es posible que casi ninguna religión importante haya analizado la ciencia y concluido: «¡Esto es mejor de lo que habíamos pensado! El universo es mucho más grande de lo que decían nuestros profetas, más

preeminente, más sutil, más elegante. Dios tiene que ser aún más grande de lo que habíamos soñado.»? En lugar de eso, exclaman: «¡No, no y no! Mi Dios es un Dios pequeño, y quiero que siga siéndolo.» Una religión, antigua o nueva, que subrayara la magnificencia del universo como la ha revelado la ciencia moderna, podría ser capaz de levantar reservas en la reverencia y el temor apenas intuidas por los credos convencionales. Tarde o temprano deberá surgir una religión así.

Dos o tres milenios atrás, nadie se avergonzaba por el hecho de pensar que el universo fue hecho para nosotros. Era una tesis atractiva, y compatible con todo lo que conocíamos; era lo que propugnaban los más eruditos sin salvedad. Pero hemos descubierto muchas cosas desde entonces. Defender hoy en día semejante postura equivale a pasar premeditadamente por alto la evidencia, y a una huida del autoconocimiento.

Aun así, a muchos de nosotros esas desprovincializaciones nos causan encono. Si bien no llegan a triunfar, suponen un desgaste de las esperanzas, a diferencia de las felices certezas antropocéntricas de otros tiempos, que comulgan con la utilidad social. Queremos estar aquí con una finalidad, aunque, a pesar de tanta decepción, nada es evidente. «La vacía irracionalidad de la vida —escribió León Tolstoi— es el único conocimiento incuestionable a que tiene acceso el hombre.» Nuestra época sobrelleva la carga del peso acumulado en los sucesivos desprestigios de nuestras concepciones: somos recién llegados. Vivimos en una región olvidada del cosmos. Surgimos de microbios y detritus. Los simios son nuestros primos. Nuestros pensamientos y sentimientos no se hallan enteramente bajo nuestro control. Es posible que existan seres muy diferentes y mucho más listos en algún lugar. Y, por si fuera poco, estamos estropeando nuestro planeta y convirtiéndonos en un peligro para nosotros mismos.

Bajo nuestros pies, la trampilla está abierta. Nos descubrimos precipitándonos en caída libre, pero sin fondo. Estamos perdidos en una inmensa oscuridad y no hay nadie que pueda mandarnos un equipo de rescate. Ante tan dura realidad, naturalmente, nos sentimos tentados a cerrar los ojos y fingir que nos encontramos seguros y confortables en casa, que la caída no es más que una pesadilla.

No hemos alcanzado un consenso acerca de nuestro lugar en el universo. No hay acuerdo generalizado sobre una visión a largo plazo del objetivo de nuestra especie, de no ser, quizá, la simple supervivencia. Especialmente cuando corren malos tiempos, andamos desesperados buscando aliento y no nos sentimos receptivos para atender a la letanía de las grandes decepciones y las esperanzas frustradas. Sí estamos, en cambio, mucho más dispuestos a escuchar que somos especiales, sin importarnos que las evidencias que lo avalan tengan el grueso de una hoja de papel. Si solamente hace falta algo de mito y ritual para que podamos soportar una noche que parece interminable, ¿quién no va a compadecerse y comprendernos?

Pero si nuestro objetivo apunta al conocimiento profundo, más que a una tranquilidad superficial, los beneficios de esta nueva perspectiva sobrepasan con mucho a las pérdidas. Tan pronto como superamos nuestro miedo a ser

insignificantes nos descubrimos en el umbral de un universo vasto e imponente que empequeñece del todo —en tiempo, espacio y potencial— el ordenado proscenio antropocéntrico de nuestros antepasados. Miramos a través de miles de millones de años luz de espacio para vislumbrar el universo poco después del big bang, y sondeamos la magnífica estructura de la materia. Escudriñamos el núcleo de nuestro planeta, el llameante interior de nuestra estrella. Ponemos al descubierto capítulos ocultos en el registro de nuestros propios orígenes y, con cierta congoja, comprendemos mejor nuestra naturaleza y perspectivas. Inventamos y refinamos la agricultura, sin la cual moriríamos casi todos de inanición. Creamos medicinas y vacunas que salvan la vida a miles de millones de personas. Nos comunicamos a la velocidad de la luz y damos la vuelta a la Tierra en una hora y media. Hemos enviado docenas de naves a más de sesenta mundos y cuatro astronaves a las estrellas. Es justo que nos deleitemos con nuestros logros, que nos sintamos orgullosos de que nuestra especie haya sido capaz de llegar tan lejos, y también que atribuyamos parte del mérito a esa misma ciencia que tanto ha rebajado nuestras pretensiones.

Para nuestros antepasados, la Naturaleza escondía muchos factores dignos de temer, relámpagos, tormentas, terremotos, volcanes, plagas, sequías, inviernos largos. Las religiones afloraron en parte como intentos de aplacar y controlar, si no de comprender, las turbulencias de la Naturaleza. La revolución científica nos permitió vislumbrar un universo ordenado subyacente, en el que existía una armonía literal de los mundos (la frase es de Johannes Kepler). Si comprendemos la Naturaleza, tenemos alguna expectativa de controlarla o, al menos, de mitigar el mal que puede ocasionar. En este sentido, la ciencia trajo esperanza.

La mayoría de los grandes debates desprovincializadores se abordaron sin pensar en sus implicaciones prácticas. Seres humanos apasionados y curiosos anhelaban comprender sus circunstancias reales, hasta qué punto eran únicos u ordinarios, ellos y su mundo, sus orígenes y destinos últimos, cómo funciona el universo. Sorprendentemente, algunos de esos debates han acarreado los más profundos beneficios prácticos. El propio método de razonamiento matemático que introdujo Isaac Newton para explicar el movimiento de los planetas alrededor del Sol ha desembocado en la mayor parte de la tecnología de nuestro mundo moderno. La revolución industrial, con todas sus deficiencias, sigue siendo el paradigma global de cómo puede una nación agrícola salir de la pobreza. Esos debates suelen tener consecuencias prácticas.

Podía haber sucedido de otro modo. La balanza podía haberse inclinado del otro lado; cabía la posibilidad de que los seres humanos no hubiésemos querido saber nada de un universo inquietante, que no hubiéramos estado dispuestos a tolerar que se cuestionara la sabiduría vigente. A pesar de una determinada resistencia en cada época, dice mucho en nuestro favor que nos permitiéramos seguir el hilo de la evidencia, extraer conclusiones que a primera vista parecían intimidatorias: un universo tanto más grande y antiguo, que nuestra experiencia personal e histórica quedaba empequeñecida y humillada, un universo en el cual cada día nacen soles

y se desvanecen mundos, un universo en el cual la Humanidad, recién llegada, se aferra a un oscuro terrón de materia.

¿No habría sido más satisfactorio que nos hubieran colocado en un jardín hecho a medida para nosotros, cuyos restantes ocupantes se mantuvieran a nuestra disposición para que los utilizáramos cuando lo tuviésemos a bien? En la tradición occidental existe una historia similar, muy celebrada, sólo que allí no estaba absolutamente todo a nuestra disposición. Había un árbol en particular del cual no debíamos participar, el árbol del conocimiento. El conocimiento, la comprensión y la sabiduría nos estaban vetados en esa historia. Debíamos permanecer ignorantes. Pero no pudimos resistirlo. Nos mataba el hambre de conocimientos; nos crearon hambrientos, piensa uno. Ahí residió la causa de todos nuestros problemas. En concreto, ésa es la razón por la que ya no vivimos en un jardín: quisimos saber demasiado. Mientras permanecimos indiferentes y obedientes, supongo, podíamos consolarnos con nuestra importancia y centralidad, y decirnos a nosotros mismos que éramos la razón por la que fue creado el universo. Sin embargo, tan pronto como fuimos cediendo a nuestra curiosidad, a nuestras ansias de explorar, de aprender cómo es realmente el universo, nos autoexpulsamos del edén. A las puertas del paraíso se apostaron ángeles guardianes, blandiendo espadas en llamas, para impedir nuestro retorno. Los jardineros nos convertimos en exiliados y peregrinos. A veces sentimos nostalgia de ese mundo perdido, pero eso, me parece a mí, es sentimental y sensiblero. No podíamos ser felices permaneciendo ignorantes para siempre.

Hay en este universo muchas cosas que parecen designios. Cada vez que tropezamos con ellas dejamos escapar un suspiro de alivio. Eternamente albergamos la esperanza de encontrar, o por lo menos de inferir sin lugar a dudas, un Designador. Pero en lugar de eso, descubrimos repetidamente que los procesos naturales —por ejemplo, la selección colisional de mundos o la selección natural en agrupaciones de genes o, incluso, el modelo de convección en una olla de agua hirviendo— pueden extraer orden a partir del caos, y nos engañamos deduciendo intención donde no la hay. En la vida cotidiana a menudo tenemos la sensación —al entrar en la habitación de un adolescente, o en la política nacional— de que el caos es natural y el orden nos viene impuesto desde arriba. Existen en el universo regularidades más importantes que las simples circunstancias que generalmente describimos como ordenadas, y ese orden, simple y complejo, parece derivarse de las leyes de la Naturaleza establecidas en el big bang (o antes), más que ser consecuencia de la tardía intervención de una imperfecta deidad. «Dios debe buscarse en los detalles», reza el famoso dicho del estudioso alemán Aby Warburg. Pero, en medio de tanta elegancia y precisión, los detalles de la vida y del universo exhiben también algo de azar, arreglos provisionales y mucha planificación deficiente. ¿Qué vamos a hacer con él: un edificio abandonado por el arquitecto en sus primeras fases de construcción?

La evidencia, por lo menos hasta ahora y dejando aparte las leyes de la Naturaleza, no requiere un Designador. Quizá haya uno escondido en alguna

parte, obstinadamente empeñado en no darse a conocer. Aunque a veces parece una esperanza muy débil.

El significado de nuestras vidas y de nuestro frágil planeta viene, pues, únicamente determinado por nuestra propia sabiduría y coraje. Somos *nosotros* los guardianes del sentido de la vida. Ansiamos unos progenitores que cuiden de nosotros, que nos perdonen nuestros errores, que nos salven de nuestras infantiles equivocaciones. Pero el conocimiento es preferible a la ignorancia. Es mejor, con mucho, comprender la dura verdad que creer una fábula tranquilizadora.

Si ardemos en deseos de hallar una finalidad cósmica, encontremos primero una meta digna para nosotros.

CAPÍTULO 5

¿HAY VIDA INTELIGENTE EN LA TIERRA?

Viajaron durante largo tiempo y no hallaron nada.
A lo lejos distinguieron una tenue luz, que era la Tierra...
Pero no pudieron encontrar la más mínima razón para sospechar
que nosotros y nuestros congéneres sobre este globo
tenemos el honor de existir.
VOLTAIRE, *Micromegas.*
Una historia filosófica (1752)

Hay lugares, dentro y fuera de nuestras grandes ciudades, donde el mundo natural casi ha desaparecido. En ellos puede uno encontrar calles, callejuelas, coches, aparcamientos, vallas anunciadoras, monumentos de cristal y acero, pero ni un solo árbol, brizna de hierba o animal, aparte, claro está, de los seres humanos. Hay multitud de seres humanos. Solamente cuando uno mira hacia arriba, a través de las gargantas de rascacielos, puede vislumbrar una estrella o un pedacito de azul, vestigios de lo que había mucho antes de que la Humanidad iniciara su andadura. Pero las deslumbrantes luces de las grandes ciudades hacen palidecer a las estrellas, y a veces casi desaparece el pedacito azul, teñido de marrón por la tecnología industrial.

No es difícil, trabajando cada día en un lugar así, que quedemos impresionados de nosotros mismos. ¡Cómo hemos transformado la Tierra para nuestro beneficio y conveniencia! Sin embargo, unos cuantos cientos de kilómetros hacia arriba o hacia abajo no hay humanos. Aparte de una fina capa de vida en la misma superficie de la Tierra, alguna intrépida astronave ocasional y un cierto número de interferencias de radio, nuestro impacto en el universo es cero. Nada sabe de nosotros.

Imaginemos que somos exploradores extraterrestres penetrando en los confines del sistema solar, tras un largo viaje a través del negro espacio interestelar. Nos disponemos a examinar desde lejos los planetas de ese astro vulgar; son unos cuantos, algunos grises, otros azules, otros rojos, otros amarillos. Nos interesa saber qué tipos de mundos son ésos, si sus entornos medioambientales son estáticos o cambiantes y, especialmente, si albergan vida e inteligencia. No tenemos ningún conocimiento previo acerca de la Tierra. Acabamos de descubrir su existencia.

Supongamos que existe una ética galáctica: se mira, pero no se toca. Nos está permitido aproximarnos a esos mundos, orbitarlos, pero queda terminantemente prohibido tomar tierra en ellos. Bajo tales condiciones, ¿seríamos capaces de averiguar cómo es el medio ambiente de la Tierra y si vive alguien allí?

A medida que nos vamos acercando, la primera impresión de conjunto del planeta se resume en nubes blancas, blancos casquetes polares, continentes marrones y una sustancia azul que cubre dos tercios de la superficie. Al tomarle a ese mundo la temperatura, a partir de la radiación infrarroja que emite, descubrimos que en la mayoría de las latitudes ésta se sitúa por encima del punto de congelación del agua, mientras que en las capas polares se encuentra por debajo del mismo. El agua es un material muy abundante en el universo; sería razonable suponer la existencia de capas polares de agua sólida, así como de nubes de agua sólida y líquida.

Quizá nos tiente la idea de achacar esa materia azul a enormes cantidades —de kilómetros de profundidad— de agua líquida. Pero esa conjetura es grotesca, en cierto modo, al menos en lo que concierne a *este* sistema solar, pues ningún otro planeta alberga en su superficie océanos de agua líquida. Mirando en el espectro de la luz visible y en la franja del infrarrojo cercano, en busca de indicios reveladores sobre su composición química, descubriremos sin duda hielo de agua en las capas polares y suficiente vapor de agua en el aire como para justificar las nubes; es también la cantidad justa que debe derivarse de la evaporación, si los océanos contienen realmente agua líquida. Por tanto, una hipótesis que parecía descabellada queda confirmada.

Por otra parte, los espectrómetros ponen de manifiesto que una quinta parte del aire de este mundo es oxígeno, O_2. No hay otro planeta en el sistema solar que se acerque ni por asomo a tal cantidad de oxígeno. ¿De dónde procede? La intensa luz ultravioleta que emite el Sol descompone el agua, H_2O, en oxígeno e hidrógeno, y el hidrógeno, el gas más ligero, se escapa rápidamente al espacio. Esa es, ciertamente, una fuente de O_2, pero no alcanza a justificar *tal* cantidad de oxígeno.

Otra posibilidad residiría en que la luz visible ordinaria, que el Sol vierte en grandes cantidades, fuera empleada en la Tierra para descomponer el agua, de no ser que no hay forma conocida de hacerlo en ausencia de vida. Necesariamente tendría que haber plantas, formas de vida coloreadas por un pigmento que absorbe intensamente la luz visible, sabe cómo descomponer una molécula de agua a base de acumular la energía de dos fotones de luz, libera el O y retiene el H, que luego utiliza para sintetizar moléculas orgánicas. Las plantas deberían cubrir la mayor parte del planeta. Y todo eso ya es pedir mucho. Si fuéramos buenos científicos, lo suficientemente escépticos, tal cantidad de O_2 no constituiría para nosotros una prueba concluyente de la existencia de vida, aunque, desde luego, daría pie a la sospecha.

Con todo ese oxígeno, no nos sorprende encontrar ozono (O_3). El ozono absorbe la peligrosa radiación ultravioleta. De modo que, si el oxígeno es debido a la vida,

ésta curiosamente se está protegiendo a sí misma. No obstante, la vida que estamos detectando podría ser meramente achacable a la presencia de plantas fotosintéticas. No cabe suponer, por ahora, la existencia de un nivel elevado de inteligencia.

Al examinar más de cerca los continentes averiguamos que hay, a grandes rasgos, dos tipos de regiones. Una muestra el espectro de rocas y minerales comunes como los hay en muchos mundos. La otra revela un dato inusual: un material que cubre extensas áreas y que absorbe en gran medida la luz roja. (El Sol, naturalmente, emite luz de todos los colores, alcanzando un máximo en el amarillo.) Podría ser justamente este pigmento el agente necesario, si es que efectivamente la luz visible común se está empleando para descomponer agua, y también el responsable del oxígeno en el aire. Ya tenemos otra pista, esta vez algo más sólida, de la existencia de vida, y no precisamente de un bichito aquí o allá, sino de una superficie planetaria rebosante de vida. En realidad, el pigmento es la clorofila: absorbe la luz azul al igual que la roja y a ella se debe que las plantas sean verdes. Lo que estamos contemplando es un planeta con una densa vegetación.

La Tierra, pues, ha revelado poseer tres propiedades únicas, al menos en este sistema solar: océanos, oxígeno y vida. Se hace difícil no relacionarlas entre sí, sobre todo teniendo en cuenta que los océanos son los lugares de origen de abundante vida y el oxígeno su producto.

Observando cuidadosamente el espectro infrarrojo de la Tierra damos con los componentes menores del aire. Además del vapor de agua, hay también anhídrido carbónico (CO_2), metano (CH_4) y otros gases, que absorben el calor que la Tierra trata de emitir al espacio durante la noche. Estos gases calientan el planeta. Sin ellos, la Tierra tendría una temperatura global inferior a la del punto de congelación del agua. Acabamos de descubrir el efecto invernadero que presenta este mundo. El metano y el oxígeno, juntos en la misma atmósfera, constituyen un hecho peculiar. Las leyes de la química son muy claras: ante un exceso de O_2 el CH_4 debería quedar convertido enteramente en H_2O y CO_2. El proceso es tan eficaz que ni una sola molécula en toda la atmósfera de la Tierra debería ser de metano. En cambio, constatamos que una de cada millón de moléculas es metano, lo cual supone una inmensa discrepancia. ¿Qué puede significar?

La única explicación plausible radica en la posibilidad de que el metano esté siendo inyectado en la atmósfera de la Tierra con tal celeridad, que su reacción química con el oxígeno no pueda seguir el ritmo. ¿De dónde procede todo ese metano? Tal vez se filtre desde las profundidades del interior de la Tierra, aunque cuantitativamente ello no parece concordar. Además, Marte y Venus no presentan en modo alguno esa importante cantidad de metano. Las únicas alternativas son de orden biológico, una conclusión que no se basa en conjeturas sobre la química de la vida o de cómo es ésta, sino que se deriva meramente de constatar cuan inestable es el metano en una atmósfera de oxígeno. De hecho, el metano surge de fuentes como las bacterias en los pantanos, los cultivos de arroz, la quema de vegetación, el gas natural procedente de los yacimientos petrolíferos y las

flatulencias bovinas. En una atmósfera de oxígeno, el metano constituye un síntoma de vida.

El hecho de que las actividades intestinales más íntimas de las vacas sean detectables desde el espacio interplanetario resulta desconcertante, especialmente si tenemos en cuenta que hay tantas cosas por las que sentimos gran apego que no lo son. No obstante, un científico extraterrestre que volara en las proximidades de la Tierra sería incapaz, llegado a este punto, de deducir la existencia de pantanos, arroz, fuego, petróleo o vacas. Detectaría sencillamente vida.

Todos los indicios de vida que hemos discutido hasta el momento son debidos a formas de existencia comparativamente simples (el metano en la panza de las vacas es generado por bacterias que residen allí). Si la astronave se hubiera aproximado a la Tierra cien millones de años atrás, en la era de los dinosaurios, cuando no existía ni la especie humana ni la tecnología, habría detectado igualmente oxígeno y ozono, el pigmento de la clorofila y una enorme cantidad —demasiado— de metano. Hoy, sin embargo, sus instrumentos se topan con señales que no solamente indican la existencia de vida, sino también de alta tecnología, algo que no habrían registrado ni tan sólo cien años atrás.

Nos encontramos con un tipo concreto de onda de radio que emana de la Tierra. Las ondas de radio no apuntan necesariamente hacia la vida y la inteligencia. Muchos procesos naturales las generan. Sin duda habremos percibido ya emisiones de radio en otros mundos aparentemente deshabitados, generadas por electrones cautivos en los poderosos campos magnéticos de los planetas, por movimientos caóticos en el frente de choque que separa dichos campos del campo magnético interplanetario, y también por relámpagos. (Los «silbidos» suelen pasar rápidamente de las notas altas a las bajas para luego comenzar de nuevo.) Algunas de estas emisiones de radio son continuas; otras se producen en ráfagas repetitivas; algunas duran pocos minutos y luego se desvanecen.

No obstante, esto es algo distinto: una porción de la transmisión de radio de la Tierra se halla precisamente en las frecuencias en que las ondas de radio comienzan a escaparse de la ionosfera del planeta, la región eléctricamente cargada situada sobre la estratosfera que refleja y absorbe las ondas de radio. Se observa una frecuencia central constante en cada transmisión, además de una señal modulada (una secuencia compleja de pulsos de encendido y apagado). No hay electrón en campo magnético, ni onda de choque, ni descarga eléctrica de relámpago que pueda generar algo de ese estilo. La presencia de vida inteligente parece la única explicación posible. Nuestra conclusión de que la transmisión de radio es debida a la tecnología de la Tierra es independiente de lo que puedan significar esas secuencias de encendido y apagado: no es necesario descodificar el mensaje para estar seguros de que *es* un mensaje. (Supongamos, por ejemplo, que esa señal es en realidad producto de la comunicación a larga distancia de la Armada de Estados Unidos con sus submarinos nucleares.)

Así pues, en nuestra calidad de exploradores extraterrestres, sabríamos que por lo menos una especie residente en la Tierra ha desarrollado tecnología de radio.

¿De cuál de ellas se trata? ¿De los seres que producen el metano? ¿De los que generan oxígeno? ¿De aquellos cuyo pigmento hace que el paisaje sea verde? ¿O acaso de otros, de seres más sutiles, seres que de otro modo no serían detectables desde una nave espacial que se aproximara al planeta? A fin de investigar esa especie tecnológica, tal vez nos resulte conveniente examinar la Tierra con un mayor grado de resolución, en busca, si no de los seres en sí, al menos de sus artefactos.

En primer lugar observamos el planeta a través de un modesto telescopio, de tal modo que la mayor precisión que podemos conseguir corresponde a uno o dos kilómetros de distancia. No distinguimos ni la arquitectura monumental, ni formaciones extrañas, ni remodelación artificial del paisaje, ni señales de vida. Lo que percibimos es una densa atmósfera en movimiento. El abundante agua debe de evaporarse y luego caer de nuevo a la Tierra a través de la lluvia. Los antiguos cráteres de impacto, tan visibles en la cercana Luna, apenas parecen presentes. Ello significa que deben de tener lugar una serie de procesos por los cuales se crea tierra nueva y posteriormente se erosiona en un espacio de tiempo mucho menor a la edad de este mundo. El agua corriente está implicada en esos procesos. A medida que vamos contemplándolo, cada vez con mayor definición, descubrimos cordilleras montañosas, valles fluviales y muchos otros indicios de que el planeta se encuentra geológicamente activo. Esporádicamente vislumbramos lugares desnudos de vegetación, aunque se hallan rodeados de ella. Tienen la apariencia de manchas descoloridas en el paisaje.

Cuando examinamos la Tierra con unos cien metros de resolución, todo cambia. El planeta aparece ante nuestros ojos cubierto de líneas rectas, cuadrados, rectángulos, círculos, en ocasiones apiñados a lo largo de las márgenes de un río o agrupados en las laderas de las montañas más bajas, otras veces extendiéndose por las llanuras, pero raras veces en desiertos o montañas altas y nunca en los océanos. Su regularidad, complejidad y distribución sería difícil de explicar de otro modo que no fuera mediante la presencia de vida y de inteligencia, si bien es posible que una comprensión más profunda de función y finalidad se nos escapara. Puede que sólo llegáramos a la conclusión de que las formas de vida dominantes tienen una pasión simultánea por la territorialidad y por la geometría euclídea. Con ese grado de resolución no podríamos verlos, y mucho menos identificarlos.

Muchas de las manchas deforestadas muestran una geometría similar a la de un tablero de ajedrez. Son las ciudades del planeta. Sobre gran parte del paisaje —no solamente en las ciudades— se observa una enorme profusión de líneas rectas, cuadrados, rectángulos, círculos. Las manchas oscuras de las ciudades aparecen altamente geometrizadas, no dejando más que unas pocas porciones de vegetación, aunque de contornos perfectamente delimitados. Ocasionalmente se aprecia algún triángulo y, en una de las ciudades, incluso un pentágono.

Cuando tomamos imágenes con un metro de resolución o mayor definición aún, descubrimos que las líneas rectas entrecruzadas que presentan las ciudades y las líneas rectas más largas que las conectan con otros centros urbanos están llenas de

unos seres aerodinámicos y multicolores, de pocos metros de largo, que avanzan educadamente uno detrás de otro en lenta, larga y ordenada procesión. Son muy pacientes. Una corriente de seres se detiene en los ángulos rectos, a fin de permitir que otra corriente pueda seguir adelante. Periódicamente les es devuelto el favor. De noche encienden dos luces potentes en su parte delantera para poder ver por donde van. Algunos, una privilegiada minoría, se retiran a unas casas pequeñas para pasar la noche, una vez finalizada la jornada laboral. No obstante, la mayoría de ellos no tienen techo y duermen en las calles.

¡Por fin! Hemos hallado la fuente de toda esa tecnología, la forma de vida predominante sobre el planeta. Evidentemente, las calles de las ciudades y las carreteras de la campiña han sido construidas en su beneficio. Podríamos pensar que estamos empezando a comprender realmente la vida en la Tierra. Y quizá tengamos razón.

Si solamente pudiéramos mejorar un poco el grado de definición, descubriríamos que existen unos minúsculos parásitos que entran y salen a menudo de los organismos dominantes. Al parecer deben de jugar un papel más importante, porque el organismo dominante inmóvil se pone en marcha justo después de ser reinfectado por un parásito, y vuelve a pararse instantes antes de que el parásito sea expulsado. Esto sí que resulta enigmático. Pero nadie dijo que la vida en la Tierra fuera fácil de entender.

Todas las imágenes que hemos tomado hasta el momento son con luz solar reflejada, es decir, en la cara diurna del planeta. Pero un hecho extraordinariamente interesante se pone de manifiesto cuando fotografiamos la Tierra durante la noche: el planeta está iluminado. La región más luminosa, cerca del círculo polar ártico, se halla iluminada por la aurora boreal, que no es generada por la vida, sino por electrones y protones procedentes del Sol, atraídos por el campo magnético de la Tierra. El resto de lo que vemos es debido a la vida. Las luces delimitan de manera reconocible los mismos continentes que descubrimos durante el día, y muchas se corresponden con las ciudades que ya hemos cartografiado. Las ciudades se concentran cerca de las líneas costeras. Tienden a ser mucho más escasas en las zonas interiores de los continentes. Puede que los organismos dominantes necesiten desesperadamente el agua del mar (o tal vez los barcos de navegación oceánica fueron en su día esenciales para el comercio y la emigración).

Sin embargo, algunas de las luces no son achacables a ciudades. En el norte de África, Oriente Medio y Siberia, por ejemplo, se perciben luminosidades muy intensas en un paisaje comparativamente desolado, debidas, según parece, a incendios en pozos de petróleo y gas natural. En el mar de Japón, el primer día que lo observamos, avistamos una extraña área de luz con forma triangular. Ese lugar corresponde durante el día a mar abierto. Allí no hay ciudad alguna. ¿Qué puede ser? Se trata de la flota pesquera japonesa dedicada a la pesca del calamar, que emplea una potente iluminación para atraer hacia la muerte bancos enteros de dicho molusco. Otros días, este tipo de luz deambula por todo el Pacífico en busca

de presa, En efecto, acabamos de descubrir el sushi.

Me parece grave que resulte tan sencillo percibir desde el espacio tales retazos de vida en la Tierra como los hábitos gastrointestinales de los rumiantes, la cocina japonesa o los sistemas para comunicarse con submarinos nómadas que transportan la muerte de doscientas ciudades, mientras tantas obras de nuestra arquitectura monumental, nuestros más grandes trabajos de ingeniería y nuestros esfuerzos para cuidarnos unos a otros, entre otras cosas, permanecen casi por completo ocultos en la sombra. Es como una especie de parábola.

A estas alturas nuestra expedición a la Tierra puede considerarse ya todo un éxito. Hemos dado con las características del medio ambiente, hemos detectado vida, hallado manifestaciones de seres inteligentes y puede que incluso hayamos identificado a la especie predominante, la que parece completamente imbuida de geometría y rectilinearidad. Sin duda alguna este planeta merece un estudio más largo y detallado. Por eso optamos por colocar la nave en órbita alrededor de la Tierra.

Observando a fondo el planeta desentrañamos nuevos enigmas. Por toda la Tierra hay chimeneas que vierten al aire anhídrido carbónico y productos químicos tóxicos. Lo mismo hacen los seres dominantes que pueblan las carreteras. Pero el anhídrido carbónico es un gas de invernadero. Nos percatamos de que la cantidad de ese gas en la atmósfera se halla en constante incremento, año tras año. Lo mismo ocurre con el metano y otros gases de invernadero. Si esto sigue así, la temperatura del planeta aumentará. Espectroscópicamente registramos otro tipo de moléculas que están siendo inyectadas al aire, los clorofluorocarbonos. No solamente se trata de gases de invernadero, sino que además son devastadoramente eficaces en la destrucción de la capa protectora de ozono.

Decidimos observar con mayor atención el centro del continente sudamericano, que —como ahora ya sabemos— es una vasta selva tropical*.

Todas las noches vislumbramos miles de fuegos. Durante el día, la región aparece cubierta de humo. Al cabo de los años, por todo el planeta, hay cada vez menos bosques y más desiertos áridos.

Contemplamos a continuación la gran isla de Madagascar. Los ríos fluyen teñidos de color marrón y generan amplias manchas en el océano próximo. Es la tierra mantillosa, que es arrastrada hacia el mar a un ritmo tan desenfrenado que, en unas cuantas décadas, se habrá agotado. Lo mismo está sucediendo, según hemos observado, en las desembocaduras de todos los ríos.

Pero si no hay suelo, no hay agricultura. ¿Qué van a comer dentro de un siglo? ¿Qué respirarán? ¿Cómo van a enfrentarse con un medio ambiente cada vez más cambiante y peligroso?

Desde nuestra perspectiva orbital nos damos cuenta de que, indudablemente, algo ha salido mal. Los organismos dominantes, que, sean quienes sean, se han tomado tantas molestias para remodelar la superficie, destruyen al mismo tiempo su capa de ozono y sus bosques, erosionan su suelo y llevan a cabo masivos e

* En el original, «*rain forest*», bosque tropical muy denso donde llueve todo el año. *(Nota de la traductora.)*

incontrolados experimentos con el clima de su planeta. ¿Es que no se dan cuenta de lo que está ocurriendo? ¿Es que no piensan en su destino? ¿O bien son incapaces de trabajar juntos en beneficio del entorno que los mantiene?

Tal vez, concluimos entonces, ha llegado el momento de replantearnos la conjetura que apunta a que en la Tierra existe vida inteligente.

BUSCANDO VIDA EN OTROS LUGARES: UNA CALIBRACIÓN

En nuestros días, naves espaciales procedentes de la Tierra se han aproximado a docenas de planetas, lunas, cometas y asteroides, equipadas con cámaras, instrumentos para medir ondas de calor y de radio, espectrómetros para determinar la composición química y un buen número de otros sistemas. Pero no hemos encontrado indicios de vida en ningún otro lugar del sistema solar. No obstante, hay quien puede mostrarse escéptico respecto a nuestra habilidad para detectar vida, especialmente si se trata de vida diferente de la que conocemos. Hasta hace poco, nunca se había llevado a cabo el test más obvio de calibración: aproximar una astronave interplanetaria moderna a la Tierra y comprobar si somos capaces de detectarnos a nosotros mismos. Dicha circunstancia cambió el 8 de diciembre de 1990.

Galilea es una nave espacial de la NASA diseñada para explorar Júpiter, el planeta gigante, sus lunas y sus anillos. Lleva el nombre del heroico científico italiano que desempeñó un papel tan capital en el derribo de las pretensiones geocéntricas. Fue él el primero en considerar a Júpiter un mundo, y también quien descubrió sus cuatro grandes lunas. Para llegar a Júpiter, la nave debía pasar cerca de Venus (una vez) y de la Tierra (dos veces) y dejarse acelerar por las gravedades de estos planetas, pues de otro modo no dispondría de la energía necesaria para llegar a su destino. Esta necesidad en el diseño de su trayectoria nos permitió, por primera vez, observar sistemáticamente la Tierra desde una perspectiva extraterrestre.

Galilea pasó a sólo 960 kilómetros de la superficie de la Tierra. Exceptuando las imágenes que muestran una definición inferior a un kilómetro y las nocturnas —obtenidas por otra nave en órbita—, la mayoría de los datos recabados por una nave espacial que aparecen en este capítulo fueron obtenidos por la nave *Galileo.* Gracias a ella pudimos deducir una atmósfera de oxígeno, agua, nubes, océanos, hielo polar, vida e inteligencia. La aplicación de los instrumentos y protocolos desarrollados para explorar los planetas al control de la salud medioambiental del nuestro —algo que la NASA está llevando a cabo con ahínco en la actualidad— fue bautizada por la astronauta Sally Ride como «Misión al planeta Tierra».

Otros miembros del equipo científico de la NASA que trabajaron conmigo en la detección de vida en la Tierra por la nave *Galileo* fueron el doctor W. Reid Thompson, de la Universidad de Cornell; Robert Carlson, del JPL; Donald Gurnett, de la Universidad de Iowa, y Charles Hord, de la Universidad de Colorado.

El éxito que obtuvo la misión en su sondeo de la Tierra, sin efectuar suposiciones de antemano acerca del tipo de vida de que podía tratarse, incrementa nuestra confianza en que el resultado negativo que ha arrojado hasta ahora la búsqueda de vida en otros planetas es altamente significativo. ¿Es este razonamiento antropocéntrico, geocéntrico, provinciano? No lo creo. No nos limitamos a buscar la biología que conocemos. Cualquier pigmento fotosintético extendido, gas en fuerte desequilibrio con el resto de la atmósfera, transformación de la superficie mediante modelos altamente geometrizados, constelación de luces en el hemisferio nocturno o fuente no astrofísica de emisión de radio revelaría la presencia de vida. Naturalmente, en la Tierra hemos hallado solamente nuestro tipo de vida, pero muchas otras clases habrían sido detectables en otros lugares. No las hemos encontrado. Esta exploración del tercer planeta refuerza nuestra conclusión provisional de que, de todos los mundos del sistema solar, solamente el nuestro ha sido agraciado con la vida.

No hemos hecho más que empezar a buscar. Quizá la vida se esconda en Marte o Júpiter, Europa o Titán. Puede que la galaxia esté llena de mundos tan ricos en vida como el nuestro. Es posible también que estemos a punto de efectuar esa clase de descubrimientos. No obstante, en los términos del conocimiento actual, en este momento la Tierra *es* única. No hay otro mundo del que hoy se sepa que alberga ni un triste microbio, y mucho menos una civilización tecnológica.

CAPÍTULO 6

EL TRIUNFO DE LOS «VOYAGER»

Los que al mar descendieran en sus naves, a traficar entre sus grandes aguas; Éstos vieron de Dios los altos hechos, sus grandes maravillas en el piélago.
Salmos, 107(aprox. 150 a.J.C.)

Las visiones de futuro que transmitimos a nuestros hijos dan forma a ese futuro. Por ello es *importante* cuáles son esas visiones, pues a menudo se convierten en profecías de autorrealización. Los sueños son como mapas.

No considero irresponsable que se esbocen los más temibles escenarios de futuro; si queremos evitarlos, debemos comprender que son posibles. Pero ¿dónde están las alternativas? ¿Dónde quedan los sueños que deben motivarnos e inspirarnos? Ansiamos mapas realistas de un mundo que podamos legar con orgullo a nuestros hijos. ¿Dónde permanecen los cartógrafos de la finalidad humana? ¿Dónde se ocultan las visiones de futuros esperanzadores, la concepción de la tecnología como instrumento en favor del progreso humano y no como arma apuntando a nuestras cabezas?

«VOYAGER 1» y «VOYAGER 2» son las naves que abrieron a la especie humana las puertas del sistema solar, inaugurando un camino para las generaciones futuras. Antes de su lanzamiento, en Agosto y Septiembre de 1977, éramos casi completamente ignorantes en lo que se refiere a la mayor parte de la porción planetaria del sistema solar. En los doce años siguientes ellas nos proporcionaron la primera información detallada y fiable acerca de muchos mundos nuevos; algunos solamente se conocían hasta entonces en forma de discos borrosos en los oculares de los telescopios ubicados en la Tierra, otros eran para nosotros meros puntos de luz y, de un tercer grupo, ni siquiera se sospechaba su existencia. Todavía hoy los *Voyager* siguen transmitiendo montones de datos.

Esas naves nos han enseñado muchas cosas sobre las maravillas de otros mundos, acerca de la singularidad y fragilidad del nuestro, y también respecto a principios y finales. Nos han dado acceso a gran parte del sistema solar, tanto en extensión como en masa. Fueron las primeras naves que exploraron mundos que algún día podrían ser el hogar de nuestros descendientes remotos.

Las lanzaderas espaciales americanas de hoy son demasiado débiles para llevar una nave espacial de estas características hasta Júpiter en unos pocos años empleando únicamente la propulsión por cohete. Pero si somos listos (y tenemos suerte) podemos hacerlo de otro modo: existe la posibilidad (como hizo la nave

Galileo años más tarde) de volar cerca de un mundo y dejar que su gravedad nos impulse hasta el siguiente. Es lo que llamamos ayuda gravitatoria. No nos cuesta más que ingenio. Es algo así como agarrarse a una barra de un tiovivo en marcha para que nos acelere y salgamos despedidos en una nueva dirección. La aceleración de la nave se ve compensada por una deceleración en el movimiento orbital del planeta alrededor del Sol. Pero, dado que el planeta es tan masivo comparado con el vehículo espacial, su movimiento apenas sufre alteración alguna. La velocidad que cada uno de los *Voyager* recibió de la gravedad de Júpiter fue un empuje cercano a los 65 000 kilómetros por hora. El movimiento de Júpiter alrededor del Sol sufrió, por su parte, una deceleración. ¿De cuánto? Dentro de cinco mil millones de años, cuando nuestro Sol se convierta en un hinchado gigante rojo, Júpiter se encontrará a un milímetro menos de donde habría estado si el *Voyager* no se hubiera aproximado a él a fines del siglo XX.

El *Voyager 2* se aprovechó de una rara alineación de los planetas: la aproximación a Júpiter le impulsó hasta Saturno, Saturno lo disparó hasta Urano, Urano hasta Neptuno, y Neptuno hacia las estrellas. Pero esa posibilidad no está siempre a nuestro alcance: la anterior oportunidad para practicar este juego de billar celeste se había presentado nada menos que durante la presidencia de Thomas Jefferson. En esa época la fase de exploración en que nos encontrábamos no iba más allá del lomo del caballo, las canoas y los barcos veleros. (El desarrollo del barco a vapor era la tecnología más innovadora que nos esperaba a la vuelta de la esquina.)

En vista de que los fondos necesarios no estaban disponibles, el Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL) de la NASA solamente podía permitirse la construcción de naves espaciales que funcionaran de forma fiable hasta cubrir la distancia que nos separa de Saturno. Más allá de la misma no había nada que hacer. Sin embargo, gracias a la excelencia del diseño de ingeniería —y al hecho de que los ingenieros del JPL que radiaban las instrucciones a la nave ganaban en sagacidad más de prisa de lo que se desgastaba la astronave— ambos vehículos pasaron a explorar Urano y Neptuno. En la actualidad nos están transmitiendo descubrimientos desde más allá del más distante planeta conocido del Sol.

Por lo general, se habla mucho más de los éxitos que nos han proporcionado las naves que de ellas mismas o de sus constructores. Siempre ha sido así. Ni siquiera esos libros de historia, fascinados con los viajes de Cristóbal Colón, nos dicen demasiado acerca de los constructores de la *Niña,* la *Pinta* y la *Santa María,* ni tampoco sobre los principios en que se basa la carabela. Esas naves espaciales, sus diseñadores, constructores, pilotos y controladores son ejemplos de lo que la ciencia y la ingeniería, cuando se dedican libremente a propósitos pacíficos bien definidos, son capaces de conseguir. Esos científicos e ingenieros deberían erigirse en modelos para una América que busca la excelencia y la competitividad internacional. Deberían figurar en nuestros sellos de correos.

Una o ambas naves estudiaron cada uno de los cuatro planetas gigantes —Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno—, así como sus anillos y sus lunas. En Júpiter,

en 1979, tuvieron que enfrentarse con una cáscara de partículas cargadas de alta energía, mil veces más intensa de la necesaria para matar a un ser humano; envueltas en esa gran cantidad de radiación, descubrieron los anillos del planeta más grande, el primer volcán activo fuera de la Tierra y un posible océano subterráneo en un mundo sin aire, entre un sinfín de otro asombrosos descubrimientos. En Saturno, entre 1980 y 1981, sobrevivieron a una tempestad de hielo y no hallaron sólo algunos anillos nuevos, sino miles de ellos. Examinaron lunas heladas, misteriosamente fundidas en un pasado comparativamente reciente, un gran mundo con un océano putativo de hidrocarburos líquidos coronado por nubes de materia orgánica.

El *25* de enero de 1986, el *Voyager 2* penetró en el sistema de Urano y transmitió desde allí una sucesión de maravillas. El encuentro no duró más que unas pocas horas, pero los datos que fielmente devolvió a la Tierra han revolucionado nuestro conocimiento del planeta aguamarina, sus quince lunas, sus anillos negros como la noche y su cinturón de partículas cautivas, cargadas de alta energía. El *25* de agosto de 1989 el *Voyager 2* pasó a través del sistema de Neptuno y observó, ligeramente iluminadas en la distancia por el Sol, nubes de formas calidoscópicas y una extraña luna sobre la cual flotaban como unas plumas de finas partículas orgánicas mecidas por un aire sorprendentemente ligero. Y en 1992, habiendo llegado más allá del planeta más exterior conocido, ambas naves *Voyager* detectaron emisiones de radio que, según se cree, emanaban de la todavía remota heliopausa, el lugar donde el viento solar da paso al viento estelar.

Como estamos fijos en la Tierra, nos vemos obligados a escudriñar los mundos distantes a través de un océano de aire distorsionador. Muchas de las ondas ultravioletas, infrarrojas y de radio que emiten esos mundos no penetran nuestra atmósfera. Es, pues, evidente por qué nuestras naves espaciales han revolucionado el estudio del sistema solar: ascendemos a una claridad total en el vacío del espacio y de allí nos acercamos a nuestros objetivos, pasando junto a ellos, como hicieron los *Voyager,* orbitándolos o tomando tierra en sus superficies.

Esas naves han mandado cuatro billones de bits de información a la Tierra, equivalentes aproximadamente a cien mil volúmenes de enciclopedia. Ya describí en *Cosmos* los encuentros de los *Voyager 1* y 2 con el sistema de Júpiter. En las páginas siguientes hablaré de los encuentros con Saturno, Urano y Neptuno.

Poco antes de que el «VOYAGER 2» llegara al sistema de Urano, el diseño de la misión había programado una maniobra final, un breve encendido del sistema de propulsión de a bordo, a fin de posicionar correctamente la nave para que pudiera enfilar su camino en la trayectoria predeterminada, sorteando las lunas existentes. No obstante, dicha corrección se reveló innecesaria. La nave espacial se encontraba ya a doscientos kilómetros de su trayectoria prevista, tras efectuar un viaje de cinco mil millones de kilómetros describiendo un arco. Ello equivaldría a enhebrar una aguja a cincuenta kilómetros de distancia o a disparar un rifle en Washington y hacer diana en Dallas.

Los filones principales del tesoro planetario fueron radiados de vuelta a la

Tierra. Pero la Tierra queda tan lejos que para cuando la señal de Neptuno era recogida en los radiotelescopios de nuestro planeta, la potencia de recepción era tan sólo de 10 elevado a -16 vatios (quince ceros entre la coma y el uno). Esta débil señal guarda la misma proporción con la potencia lumínica emitida por una lámpara normal que el diámetro de un átomo con la distancia que separa la Tierra de la Luna. Es como escuchar el paso de una ameba.

La misión fue concebida a fines de los sesenta. Los primeros fondos de financiación se recabaron en 1972, pero no fue aprobada en su formulación definitiva (incluyendo los encuentros con Urano y Neptuno) hasta que las naves hubieron completado su reconocimiento de Júpiter. Ambas fueron lanzadas desde la Tierra empleando un cohete propulsor Titán/Centauro no reutilizable. El tamaño de una nave *Voyager,* que pesa cerca de una tonelada, ocuparía una casa pequeña. Cada una consume 400 vatios de potencia —considerablemente menos que un hogar americano medio— de un generador que convierte plutonio radiactivo en electricidad. (Si tuviera que basarse en la energía solar, la potencia disminuiría rápidamente a medida que la nave fuera alejándose del Sol. De no haber sido por la energía nuclear, el *Voyager* no habría podido transmitir ningún dato del sistema solar exterior, exceptuando quizá algunos referentes a Júpiter.)

La corriente de electricidad en el interior de la nave generaría magnetismo suficiente como para trastocar el sensible instrumento que mide los campos magnéticos interplanetarios. Por ello, el magnetómetro se aloja en el extremo exterior de un brazo extensible, lejos de las perniciosas corrientes eléctricas. Sumado a otras proyecciones que lleva la nave, da al *Voyager* un cierto aspecto de puerco espín. Las cámaras, los espectrómetros infrarrojo y ultravioleta, así como un instrumento denominado fotopolarímetro, están ubicados en la plataforma de exploración científica, que es giratoria, de forma que dichos sistemas pueden apuntar al mundo que constituya en cada momento nuestro objetivo de análisis. La nave debe saber siempre dónde se encuentra la Tierra si se pretende que la antena quede correctamente dispuesta y pueda enviar datos a nuestro planeta. También debe conocer la posición del Sol y, al menos, la de una estrella brillante, para poder orientarse en tres dimensiones y apuntar correctamente hacia cualquier mundo al pasar junto a él. Evidentemente, si no somos capaces de dirigir bien las cámaras, de poco sirve que éstas puedan devolver imágenes desde miles de millones de kilómetros de distancia.

Cada nave espacial cuesta aproximadamente lo mismo que un bombardero estratégico moderno. Pero a diferencia de los bombarderos, un *Voyager* no puede, una vez lanzado, volver a los hangares para ser reparado. Por eso las computadoras y aparatos electrónicos de la nave se diseñan de forma redundante. Gran parte de la maquinaria clave, incluyendo el esencial transmisor de radio, lleva al menos un sustituto a bordo, preparado para ser requerido si alguna vez se plantea la necesidad. Cuando uno de los *Voyager* se encuentra en dificultades, las computadoras utilizan la lógica del «árbol de contingencias ramificadas» para elaborar la secuencia apropiada de actuación. En caso de que tampoco eso

funcionara, la nave pide ayuda a la Tierra.

A medida que la astronave se va alejando más de nuestro planeta, va incrementándose también el tiempo que invierten las ondas de radio en su viaje de ida y vuelta, que alcanza las once horas cuando el *Voyager* se halla a la distancia de Neptuno. Así pues, en caso de emergencia la nave debe saber cómo situarse en una posición segura de reserva, mientras espera instrucciones procedentes de la Tierra. Por otra parte, a medida que va pasando el tiempo es de esperar que se vayan produciendo más fallos, tanto en sus componentes mecánicos como en el sistema informático que lleva incorporado, si bien hasta el momento no hay indicios de ningún deterioro serio de la memoria, de lo que podríamos llamar «enfermedad de Alzheimer» de los robots.

Ello no significa, claro está, que los *Voyager* sean perfectos. Ha habido que lidiar ya con serios contratiempos, que han supuesto amenazas reales para la misión. En cada una de esas ocasiones se asignaron equipos especiales de ingenieros —algunos habían formado parte del programa Voyager desde el principio— para «trabajar» el problema. Estudiaban las materias científicas implícitas en el contratiempo y recurrían a su experiencia previa con los subsistemas defectuosos. Para experimentar empleaban equipos idénticos a los de la nave *Voyager* que nunca llegaron a ponerse en órbita, o bien optaban por fabricar gran cantidad de componentes del mismo tipo que los que estaban fallando, a fin de alcanzar una comprensión de orden estadístico respecto a los motivos de la avería.

En abril de 1978, casi ocho meses después del lanzamiento y mientras la nave se aproximaba al cinturón de asteroides, la omisión de una orden en la Tierra —un error humano— hizo que la computadora de a bordo del *Voyager 2* desconectara el transmisor principal de radio y conectara su sustituto. Durante la siguiente conexión con la nave, el transmisor de reserva se negó a desconectarse de acuerdo con la orden que le llegaba desde la Tierra. Un componente de los circuitos, un condensador, había fallado. Transcurridos siete días, durante los cuales el *Voyager 2* estuvo totalmente fuera de contacto, el software de protección antierrores ordenó de repente al transmisor de reserva que se desconectara y puso de nuevo en marcha el principal. Misteriosamente —hasta el día de hoy nadie sabe a qué se debió—, momentos después el transmisor principal falló. Nunca más se ha sabido de él. Para colmo, la computadora de a bordo comenzó entonces a insistir alocadamente en utilizar el transmisor principal defectuoso. Por culpa de una desgraciada concatenación de errores humanos y robóticos, la nave se encontraba ahora verdaderamente en peligro. A nadie se le ocurría el modo de conseguir que el *Voyager 2* conectara de nuevo el transmisor de reserva. Y aunque lo hiciera, dicho transmisor tampoco podía recibir órdenes de la Tierra por causa del condensador averiado. Fueron momentos en que muchos miembros del personal del proyecto se temieron lo peor.

Pero al cabo de una semana de obstinada indiferencia ante todas las órdenes, las instrucciones de puesta en marcha entre transmisores fueron aceptadas y programadas en la caprichosa computadora de a bordo. En el transcurso de esa

misma semana, los ingenieros del JPL diseñaron un innovador procedimiento de control de la frecuencia de transmisión de las órdenes, a fin de garantizar que las más esenciales fueran comprendidas por el transmisor de reserva averiado.

Ahora los ingenieros podían comunicarse de nuevo, al menos de manera rudimentaria, con la astronave. Pero desgraciadamente dicho transmisor había quedado tocado y se había vuelto extremadamente sensible al calor disperso liberado cuando determinados componentes de la nave aumentaban o disminuían de potencia. En los meses siguientes los ingenieros del JPL diseñaron y llevaron a cabo pruebas que les permitieran comprender a fondo las implicaciones térmicas que acarrean muchas de las operaciones en una nave espacial: ¿cuáles impedirían y cuáles permitirían la recepción de órdenes desde la Tierra?

Con esta información pudo solventarse por completo el problema con el transmisor de reserva y éste registró todas las órdenes procedentes de la Tierra acerca de cómo recabar datos en los sistemas de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Los ingenieros habían conseguido salvar la misión. (Para curarse en salud, y durante la mayor parte del subsiguiente viaje del *Voyager 2,* siempre proporcionaron de antemano a la computadora de a bordo la secuencia de órdenes nominales referente a la toma de datos para el próximo planeta con que debía encontrarse, no fuera que le diera de nuevo por hacer oídos sordos a las demandas que le formulaban desde casa.)

Otro acongojante percance se produjo justo después de que el *Voyager 2* emergiera desde detrás de Saturno (visto desde la Tierra) en agosto de 1981. La plataforma de exploración científica había estado moviéndose febrilmente, apuntando, ahora aquí ahora allá, hacia los anillos, lunas y la misma superficie del planeta durante los momentos —demasiado breves— de mayor aproximación. Repentinamente, la plataforma se atascó. Una plataforma de exploración encallada constituye un apuro capaz de volver loco a cualquier astrónomo: tener conciencia de que la astronave está volando junto a maravillas que nunca nadie ha presenciado, que no volveremos a ver en años o quizá en décadas, y la nave espacial mirando fijamente al espacio con total indiferencia, ignorándolo absolutamente todo.

La plataforma de exploración es movida por actuadores que contienen trenes de engranajes. Así pues, primero, los ingenieros del JPL hicieron funcionar una copia idéntica de un actuador de vuelo en una misión simulada. Este falló tras 348 giros; el actuador de la nave espacial se había atascado al cabo de 352 giros. Se descubrió que el problema residía en un fallo de lubricación. Bueno era saberlo, pero ¿qué se podía hacer para solucionarlo? Evidentemente era imposible llegar hasta el *Voyager* provistos de una lata de aceite.

Los ingenieros se preguntaban si podrían poner de nuevo en marcha el actuador averiado mediante calentamiento y enfriamiento alternos; quizá las tensiones térmicas resultantes inducirían la expansión y contracción en grados diversos de los componentes del actuador y desatascarían el sistema. Probaron esta idea en el laboratorio con actuadores fabricados para la ocasión y, con gran alborozo,

descubrieron que de esta manera se podía poner de nuevo en funcionamiento la plataforma de exploración científica en el espacio. El personal del proyecto diseñó también métodos para diagnosticar cualquier tendencia adicional al fallo de los actuadores con la antelación suficiente para evitar el problema. Después de eso, la plataforma de exploración del *Voyager 2* funcionó a la perfección.

Todas las imágenes tomadas en los sistemas de Urano y Neptuno deben su existencia a este trabajo. Los ingenieros, una vez más, habían logrado evitar el desastre.

Los *Voyager 1 y 2* fueron concebidos para explorar solamente los sistemas de Júpiter y Saturno. Cierto que sus trayectorias iban a llevarlos hacia Urano y Neptuno, pero oficialmente esos planetas nunca fueron contemplados como objetivos de exploración para los *Voyager:* no estaba calculado que dichas naves duraran tanto. En vista de nuestro deseo de aproximarnos al misterioso mundo de Titán, el *Voyager 1* fue impulsado por Saturno en una senda en la que nunca podría toparse con ningún otro mundo conocido; fue el *Voyager 2* el que voló hacia Urano y Neptuno consiguiendo un notabilísimo éxito. A esas inmensas distancias la luz solar es cada vez más apagada y las señales de radio transmitidas a la Tierra se vuelven paulatinamente más débiles. Eran problemas predecibles, aunque no por ello menos serios, a los que los ingenieros y científicos del JPL debieron hacer frente.

A causa de los bajos niveles de luz en Urano y Neptuno, las cámaras de televisión del *Voyager* se veían forzadas a aplicar periodos largos de exposición. Pero la nave circulaba tan de prisa a través, por poner un ejemplo, del sistema de Urano (a unos 56000 kilómetros por hora) que la imagen habría quedado manchada o borrosa. Para compensarlo, toda la nave debía moverse durante los tiempos de exposición, del mismo modo que hacemos girar lentamente la cámara en la dirección opuesta para tomar una foto de un coche en movimiento, en plena calle. Suena muy sencillo, pero no lo es: es necesario neutralizar el más leve movimiento. Con gravedad cero, el mero hecho de poner en marcha o parar el aparato de cassette de la nave puede hacerla oscilar lo suficiente como para estropear una imagen.

También este obstáculo pudo ser salvado enviando órdenes a los pequeños motores cohete (llamados *thrusters)* de la nave, unas máquinas de una sensibilidad exquisita. Mediante un pequeño golpe de gas al principio y al final de cada secuencia de toma de datos, los *thrusters* compensaban la oscilación provocada por la cinta registradora, haciendo girar solamente un poco toda la nave. A fin de solucionar la baja potencia de radio recibida en la Tierra, los ingenieros diseñaron un modo nuevo y más eficaz de registro y transmisión de datos, y los radiotelescopios en la Tierra fueron vinculados electrónicamente a otros para incrementar su sensibilidad. En conjunto, el sistema de imagen funcionó mejor, bajo muchos criterios, en Urano y Neptuno de lo que lo hizo en Saturno e incluso en Júpiter.

Los *Voyager* todavía no han dejado de explorar. Cabe, claro está, la posibilidad

de que mañana mismo falle algún subsistema vital, pero en lo que concierne a la desintegración radiactiva de la fuente de energía que supone el plutonio, ambas naves deberían ser capaces de continuar mandando datos a la Tierra hasta el año 2015 aproximadamente.

El *Voyager* es un ser inteligente, parte robot, parte humano, Transporta los sentidos del hombre hasta mundos remotos. Para tareas simples y problemas a corto plazo se fía de su propia inteligencia, pero para trabajos más complejos y problemas de mayor alcance se pone en manos de la inteligencia colectiva y de la experiencia de los ingenieros del JPL. Esta tendencia está destinada a crecer. Los *Voyager* encarnan la tecnología de principios de los años setenta; si hoy se diseñara una nave para una misión de estas características, incorporaría asombrosos avances en cuanto a inteligencia artificial, miniaturización, velocidad de procesamiento de datos, habilidad para la autodiagnosis y reparación, así como a la incapacidad para aprender de la experiencia. También resultaría mucho más económica.

En los múltiples entornos peligrosos para las personas, tanto en la Tierra como en el espacio, el futuro pertenece a asociaciones de robots y humanos que reconocerán en las naves *Voyager* a sus antecesoras y pioneras. En circunstancias de accidente nuclear, desastres mineros, exploración y arqueología subterránea, fabricación, inspección del interior de los volcanes y como ayuda en el hogar, por nombrar solamente unas pocas aplicaciones potenciales, podría suponer un enorme adelanto el poder contar con una generación de robots compactos, ingeniosos, móviles y dirigibles, capaces de diagnosticar y reparar sus propias disfunciones. Es muy probable que los de su tribu sean mucho más numerosos en un futuro próximo.

Hoy, la certeza de que cualquier cosa que construya el gobierno va a resultar un desastre ha pasado a formar parte de la sabiduría convencional. Pero las dos naves *Voyager* fueron construidas por el gobierno (en asociación con ese otro fantasma, la academia). Y se hicieron dentro de los costes presupuestados, en el tiempo previsto, excediendo además ampliamente de sus especificaciones de diseño, así como de los sueños más osados de sus constructores. Sin tener como fin el control, la amenaza, el perjuicio o la destrucción, estas elegantes máquinas representan la faceta exploradora de nuestra naturaleza, liberada para vagar por el sistema solar y más allá de sus confines. Este tipo de tecnología —hallándose los tesoros que descubre libremente disponibles para todos los seres humanos del mundo— ha supuesto, en el transcurso de las últimas décadas, una de las pocas actividades llevadas a cabo por Estados Unidos unánimemente admiradas, tanto por los que aborrecen muchas de sus políticas, como por los que en general se muestran de acuerdo con la nación. Los *Voyager* vienen costando a cada americano menos de un centavo al año, desde su lanzamiento hasta su encuentro con Neptuno. Las misiones a otros planetas constituyen una de las cosas que mejor hacemos, y no lo digo solamente en referencia a Estados Unidos, sino a toda la especie humana.

CAPÍTULO 7

ENTRE LAS LUNAS DE SATURNO

Siéntate como un sultán entre las lunas de Saturno.
HERMAN MELVILLE, *Moby Dick*, cap. 107 (1851)

Existe un mundo, cuyo tamaño se encuentra a medio camino entre la Luna y Marte, donde el aire, en sus capas superiores, se riza a causa de la electricidad, que fluye en torrentes procedente de su vecino, el arquetípico planeta de los anillos. Su perpetua envoltura marrón está teñida de un curioso tono anaranjado tostado, y la materia de la vida cae sin cesar de los cielos sobre su oculta y desconocida superficie. Este mundo se encuentra tan lejos que la luz del Sol tarda más de una hora en llegar a él. Las naves espaciales necesitan años. Muchos datos acerca de él siguen siendo un misterio, entre ellos si alberga grandes océanos. No obstante, sabemos lo suficiente como para reconocer que puede haber a nuestro alcance un lugar donde se están desarrollando determinados procesos que, eones atrás, condujeron en la Tierra al origen de la vida.

En nuestro mundo se está llevando a cabo un experimento a largo plazo —en algunos aspectos bastante prometedor— acerca de la evolución de la materia. Los fósiles más antiguos conocidos tienen unos 3600 millones de años de antigüedad. Pero hace 4200 o 4300 millones de años, la Tierra estaba siendo devastada hasta tal punto, en las etapas finales de su formación, que es imposible que la vida ya hubiera surgido: colisiones masivas fundían la superficie, convirtiendo los océanos en vapor y dejando escapar al espado cualquier atmósfera que hubiera podido acumularse desde el último impacto. Así pues, cuatro mil millones de años atrás existió una ventana, bastante limitada —tal vez solamente de unos cien millones de años de amplitud—, en la que nuestros antepasados más distantes nacieron a la vida. En cuanto las condiciones lo permitieron, la vida se desarrolló con rapidez. En cierto modo.

Es muy probable que los primeros seres vivientes fueran muy ineptos, mucho menos capaces que el más humilde de los microbios de la actualidad, y eso que

éstos a duras penas llegan a efectuar bastas copias de sí mismos. Pero la selección natural, el proceso crucial descrito por primera vez con coherencia por Charles Darwin, constituye un instrumento dotado de tan inmenso poder que a partir de los comienzos más modestos puede emerger toda la riqueza y hermosura del mundo biológico.

Aquellos primeros seres vivientes se componían de piezas, partes, bloques constructivos que hubieron de surgir por sí solos, es decir, alentados por las leyes de la física y la química, sobre una Tierra carente de vida. Los bloques constructivos de toda vida terrestre reciben el nombre de moléculas orgánicas y se basan en el carbono. Del prodigioso número de posibles moléculas orgánicas, muy pocas participan en la creación de vida. Las dos clases más importantes son los aminoácidos, bloques constructivos de las proteínas, y las bases de nucleótidos, bloques constructivos de los ácidos nucleicos.

Y justo antes del origen de la vida, ¿de dónde surgieron esas moléculas? Solamente existen dos posibilidades: del exterior o del interior del planeta. Sabemos que en esos tiempos impactaban en la Tierra muchísimos más cometas y asteroides que hoy; que esos pequeños mundos constituyen almacenes rebosantes de moléculas orgánicas complejas, y que algunas de ellas pudieron escapar al negro destino que esperaba a la mayoría de moléculas a consecuencia del impacto. Estoy describiendo aquí bienes caseros, no importados: las moléculas orgánicas generadas en el aire y las aguas de la Tierra primitiva.

Lamentablemente, no conocemos demasiado acerca de la composición del aire primitivo, y hay que señalar también que las moléculas orgánicas se fabrican con mayor facilidad en unas atmósferas que en otras. No podía haber mucho oxígeno, porque el oxígeno es generado por las plantas verdes, y en esa época todavía no existían. Probablemente habría más hidrógeno, pues el hidrógeno es muy abundante en el universo y escapa al espacio desde las capas altas de la atmósfera de la Tierra mejor que cualquier otro átomo (debido a que es muy ligero). Si somos capaces de imaginar diversas posibilidades de atmósferas primitivas, podemos duplicarlas en el laboratorio, aplicar energía y ver qué moléculas orgánicas se generan y en qué cantidades. Este tipo de experimentos se han revelado estimulantes y prometedores a lo largo de los años. Pero nuestra ignorancia de las condiciones iniciales limita su relevancia.

Lo que necesitamos es un mundo real cuya atmósfera conserve todavía algunos de esos gases ricos en hidrógeno, un mundo que en otros aspectos sea parecido a la Tierra, un mundo en que los bloques orgánicos constructivos de vida estén siendo masivamente generados en la actualidad, y al cual podamos acudir en busca de nuestros propios orígenes. Solamente existe un mundo así en el sistema solar. Se trata de Titán, la gran luna de Saturno. Tiene alrededor de 5150 kilómetros de diámetro, un poco menos de la mitad del tamaño de la Tierra. Necesita dieciséis de nuestros días para completar una órbita alrededor de Saturno.

No hay ningún mundo que sea una réplica perfecta de otro y, al menos en un aspecto importante, Titán es muy distinto de la Tierra primitiva: al hallarse tan

alejado del Sol, su superficie es extremadamente fría, muy por debajo del punto de congelación del agua, alrededor de 180°C bajo cero. Así pues, mientras en la época del origen de la vida la Tierra estaba —como ahora— cubierta en su mayor parte por océanos, en Titán no pueden existir océanos de agua líquida. (Que haya océanos compuestos de otra materia ya es otra historia, como veremos más adelante.) Sin embargo, las bajas temperaturas proporcionan una ventaja, pues una vez sintetizadas las moléculas en Titán, tienden a conservarse: cuanto más elevadas son las temperaturas, más rápido se destruyen las moléculas. En Titán puede que todavía se conserven las moléculas que han estado lloviendo del cielo como maná durante los últimos cuatro mil millones de años, completamente inalteradas, congeladas, aguardando la llegada de los químicos de la Tierra.

La invención del telescopio en el siglo XVII condujo al descubrimiento de muchos mundos nuevos. En 1610 Galileo espió por primera vez los cuatro grandes satélites de Júpiter. Parecía un sistema solar en miniatura, con aquellas pequeñas lunas dando vueltas alrededor de Júpiter, tal como pensaba Copérnico que los planetas orbitaban al Sol. Fue otro duro golpe para los geocentristas. Cuarenta y cinco años más tarde, el renombrado físico holandés Christiaan Huygens descubrió una luna que se movía alrededor del planeta Saturno, y la llamó Titán[*].

Era un punto de luz a más de 1600 millones de kilómetros de distancia, fulgurando en luz solar reflejada. Desde el momento de su descubrimiento, una época en que los hombres europeos llevaban largas pelucas de tirabuzones, hasta la segunda guerra mundial, cuando los americanos se cortaban el pelo al uno, casi no se supo nada más de Titán, exceptuando el hecho de que presenta un curioso color tostado. Los telescopios basados en la Tierra apenas pudieron averiguar algún detalle enigmático. El astrónomo español J. Comas Sola aportó, en los albores del siglo XX, una vaga e indirecta evidencia de la existencia de una atmósfera.

En cierto modo, yo crecí con Titán. Desarrollé mi tesis doctoral en la Universidad de Chicago bajo la tutela de Gerard P. Kuiper, el astrónomo que efectuó el descubrimiento definitivo de que Titán posee atmósfera. Kuiper era holandés y descendiente intelectual en línea directa de Christiaan Huygens. En 1944, mientras llevaba a cabo un examen espectroscópico de Titán, Kuiper quedó asombrado al descubrir los rasgos espectrales característicos del gas metano. Cuando apuntó el telescopio hacia Titán, ahí estaba la rúbrica del metano[†].

Cuando lo retiraba, en cambio, ni rastro del metano. Pero las lunas no tienen por qué retener atmósferas considerables y, desde luego, no es ése el caso de la luna de la Tierra. Kuiper comprendió que Titán podía retener una atmósfera aunque su gravedad fuera inferior a la de la Tierra, al ser muy fría su atmósfera

---

[*] No porque la viera especialmente grande, sino porque en la mitología griega los miembros de la generación precedente a los dioses del Olimpo —Saturno, sus hermanos y sus primos— eran llamados Titanes.

[†] La atmósfera de Titán no posee oxígeno detectable, de modo que el metano no se halla violentamente fuera de equilibrio químico, como lo está en la Tierra, y su presencia no representa en modo alguno un indicio de vida.

superior. Simplemente, las moléculas no se mueven con la celeridad suficiente para que un número significativo de ellas alcance la velocidad de escape y huya al espacio.

Daniel Harris, alumno de Kuiper, demostró de manera concluyente que Titán es rojo. Tal vez estuviéramos contemplando una superficie herrumbrosa como la de Marte. Si queríamos aprender más cosas sobre Titán, podíamos medir la polarización de la luz solar reflejada en él. La luz solar ordinaria no está polarizada. Joseph Veverka, actualmente compañero mío en el cuerpo docente de la Universidad de Cornell, se graduó bajo mi tutela en la Universidad de Harvard y es, en consecuencia, por así decirlo, «descendiente» de Kuiper. En *su* tesis doctoral, alrededor de 1970, midió la polarización de Titán y descubrió que ésta cambiaba cuando se modificaban las posiciones relativas de Titán, el Sol y la Tierra. Pero el cambio era muy distinto del exhibido, por ejemplo, por la Luna. Veverka llegó a la conclusión de que la naturaleza de esta variación era coherente con la existencia de nubes o niebla extensiva en Titán. Cuando lo observábamos a través del telescopio no estábamos viendo su superficie. No sabíamos nada de cómo podía ser, ni teníamos tampoco la más ligera idea de la distancia que la separaba de la cubierta de nubes.

Así, a principios de los años setenta, a modo de legado de Huygens y de su línea de descendencia intelectual, quedó claro por lo menos que Titán posee una atmósfera densa rica en metano y que probablemente se halla envuelto en un velo rojizo de nubes o neblina aerosol. Pero ¿qué tipo de nube puede ser roja? A comienzos de la década de los setenta, mí colega Bishun Khare y yo llevamos a cabo unos experimentos en Cornell consistentes en irradiar diversas atmósferas ricas en metano con luz ultravioleta o electrones, con lo cual se generaba un sólido rojizo o marronoso; este material formaba una capa en el interior de nuestros vasos de reacción. Se me ocurrió que si Titán, que era rico en metano, poseía esas nubes de tonos entre rojo y marrón, éstas podían muy bien ser similares a lo que estábamos fabricando en el laboratorio. Llamamos a ese material *tholin (tollina,* en griego, significa «fangoso»). Al principio teníamos una muy vaga idea de cuál podía ser su composición. Se trataba de algún tipo de mezcolanza orgánica, producto de la disgregación de nuestras moléculas iniciales, que permitía la recombinación de los átomos —carbono, hidrógeno, nitrógeno— y de los fragmentos moleculares.

La palabra «orgánico» no lleva implícita ninguna atribución de origen biológico; de acuerdo con la vieja usanza química, que tiene más de un siglo de antigüedad, sirve meramente para describir moléculas compuestas por átomos de carbono (excluyendo algunas muy simples, como el monóxido de carbono, CO, y el anhídrido carbónico, CO_2). Dado que la vida en la Tierra está basada en moléculas orgánicas y visto que hubo un tiempo anterior a la *existencia* de vida en la Tierra, algún proceso tuvo que dar lugar a moléculas orgánicas en nuestro planeta antes de que apareciera el primer organismo. Algo similar, propuse yo, podría estar ocurriendo hoy en Titán.

El acontecimiento de la época, en lo que se refiere a nuestra comprensión de Titán, fue la llegada en 1980 y 1981 de las naves espaciales *Voyager 1 y 2* al sistema de Saturno. Los instrumentos de medición ultravioleta, infrarrojo y radio registraron la presión y la temperatura a través de la atmósfera, desde la superficie oculta hasta el borde del espacio. Averiguamos a qué altura llegaban los puntos más altos de las nubes y que el aire en Titán se compone principalmente de nitrógeno, N_2, como ocurre hoy en la Tierra. El otro componente fundamental, como descubrió Kuiper, es el metano, CH_4, la materia prima a partir de la cual se generan allí moléculas orgánicas basadas en el carbono.

Se encontró también una gama de moléculas orgánicas simples, presentes en forma de gases, principalmente hidrocarburos y nitrilos. Las más complejas llevan cuatro átomos «pesados» (carbono y/o nitrógeno). Los hidrocarburos son moléculas compuestas únicamente de átomos de carbono e hidrógeno, y los conocemos en forma de gas natural, petróleo y ceras. (Son bastante distintos de los hidratos de carbono, como son los azúcares y las féculas, que también llevan átomos de oxígeno.) Los nitrilos son moléculas con un átomo de carbono y otro de hidrógeno, unidos de una manera especial. El nitrilo más conocido es el HCN, cianuro de hidrógeno, un gas letal para los seres humanos. No obstante, este gas tuvo también su participación en los pasos que sobre la Tierra condujeron al origen de la vida.

El hecho de haber encontrado estas simples moléculas orgánicas en las capas superiores de la atmósfera de Titán —aunque su presencia se reduzca a una parte por millón o incluso por mil millones— resulta muy tentador. ¿Pudo la atmósfera de la Tierra primitiva ser algo similar? En Titán hay diez veces más aire del que tenemos hoy en la Tierra, pero es perfectamente posible que la Tierra, en sus orígenes, tuviera una atmósfera más densa.

Además, los *Voyager* descubrieron una amplia región de electrones y protones energéticos alrededor de Saturno, atrapados en el campo magnético del planeta. Durante el curso de su movimiento orbital alrededor de Saturno, Titán entra y sale con rapidez de su magnetosfera. Haces de electrones (además de luz solar ultravioleta) caen sobre las capas superiores de aire de Titán, al igual que fueron interceptadas por la atmósfera de la Tierra primitiva partículas cargadas (y luz solar ultravioleta).

Así pues, resulta lógica la idea de irradiar la mezcla apropiada de nitrógeno y metano con luz ultravioleta o electrones, a presiones muy bajas, y determinar qué moléculas de mayor complejidad pueden formarse. ¿Podemos simular lo que está ocurriendo en la atmósfera superior de Titán? En nuestro laboratorio de Cornell —con la colaboración fundamental de mi colega W. Reid Thompson— efectuamos la réplica de algunas de las producciones de gases orgánicos en Titán. Los hidrocarburos más simples son elaborados allí mediante la luz ultravioleta procedente del Sol. Pero en lo que se refiere a todos los demás productos gaseosos, los que conseguimos con mayor facilidad mediante electrones en el laboratorio corresponden a los descubiertos por el *Voyager* en Titán, y en iguales proporciones.

La correspondencia es de uno a uno. En futuros estudios de Titán buscaremos los siguientes gases en orden de abundancia obtenidos en el laboratorio. Los gases orgánicos más complejos que fabricamos llevan seis o siete átomos de carbono y/o nitrógeno. Estas moléculas de producto se hallan en camino de formar el *tholin.*

Teníamos la esperanza de un cambio en la meteorología cuando el *Voyager 1* estaba aproximándose a Titán. A gran distancia, su apariencia era la de un minúsculo disco; desde el punto más cercano, el campo de visión de nuestra cámara abarcó una pequeña provincia de Titán. Si la capa de niebla y nubes hubiera presentado alguna interrupción, de unos pocos kilómetros por lo menos, al explorar el disco habríamos visto algo de su superficie oculta. Pero no había indicios de ningún boquete. Ese mundo está completamente enmascarado. Nadie en la Tierra sabe lo que hay en la superficie de Titán. Y un observador de allí, mirando hacia arriba con luz visible normal, no podría imaginar las maravillas que le aguardaban si atravesara la capa de nubes y pudiera contemplar Saturno con sus imponentes anillos.

Gracias a las mediciones del *Voyager,* del observatorio International Ultraviolet Explorer en la órbita de la Tierra y de telescopios basados en nuestro planeta disponemos de bastantes datos sobre las partículas que componen la capa de nubes y niebla, de colores entre naranja y marrón, que envuelve la superficie de Titán: qué colores de la luz absorbe con mayor profusión, cuáles deja pasar, hasta qué punto refracta la luz que la atraviesa y cómo son de grandes las nubes que la componen. (La mayoría de ellas tienen el tamaño de las partículas contenidas en el humo de un cigarrillo.) Las «propiedades ópticas» dependerán, naturalmente, de la composición de las partículas de la niebla.

En colaboración con Edward Arakawa del Oak Ridge National Laboratory en Tennessee, Khare y yo analizamos las propiedades ópticas del *tholin* de Titán. Resultó ser clavado a la verdadera niebla de Titán. No existe otro candidato, ni material ni mineral ni orgánico, que concuerde con las constantes ópticas de Titán. Así pues, podemos decir que hemos conseguido embotellar la niebla de Titán, que, tras formarse en las capas altas de su atmósfera, va precipitándose lentamente y acumulándose en copiosas cantidades en su superficie. ¿De qué se compone ese material?

Es muy difícil determinar la composición exacta de un sólido orgánico complejo. Por ejemplo, la química del carbón no está, todavía hoy, del todo esclarecida, a pesar de los cuantiosos incentivos económicos que se han dedicado a ello. No obstante, sí hemos descubierto algunas cosas acerca del *tholin* de Titán. Contiene muchos de los bloques esenciales constructivos de vida de la Tierra. De hecho, si ponemos en agua el *tholin* de Titán, conseguiremos gran número de aminoácidos, los constituyentes fundamentales de las proteínas, y también de bases de nucleótidos, los bloques constructivos del DNA y RNA. Algunos de los aminoácidos obtenidos por este procedimiento tienen una amplia representación entre los seres vivientes de la Tierra. Otros son de una clase completamente diferente. También aparecen muchas otras moléculas orgánicas, algunas de

importancia para la vida y otras no. Durante los últimos cuatro mil millones de años, inmensas cantidades de moléculas orgánicas se formaron en la atmósfera y sedimentaron en la superficie de Titán. Si en los eones transcurridos desde entonces todo ha permanecido congelado y sin sufrir cambios, la cantidad acumulada debería de haber formado una capa, como mínimo, de decenas de metros de espesor; estimaciones extremas le atribuyen kilómetros de profundidad.

Ahora bien, a 180°C por debajo del punto de congelación del agua, muy bien podríamos pensar que nunca llegarían a formarse aminoácidos. Sumergir el *tholin* en agua pudo tener relevancia en la Tierra primitiva, pero no —cabría suponer— en Titán. Sin embargo, ocasionalmente deben de producirse impactos de cometas y asteroides contra la superficie de Titán. (Las demás lunas de Saturno cercanas a Titán presentan abundantes cráteres de impacto, y la atmósfera de Titán no es lo suficientemente gruesa como para impedir que objetos que se mueven a gran velocidad alcancen su superficie.) Aunque no hemos visto nunca la superficie de Titán, los científicos planetarios saben algunas cosas en relación con su composición. La densidad media de Titán se halla entre la del hielo y la de la roca. Es plausible pensar que contiene ambas cosas. El hielo y la roca son abundantes en mundos cercanos; algunos de ellos se componen de hielo prácticamente puro. Si la superficie de Titán está helada, el impacto de un cometa a gran velocidad fundiría temporalmente el hielo. Thompson y yo estimamos que cualquier lugar dado de la superficie de Titán tiene una probabilidad del cincuenta por ciento de haberse derretido alguna vez, con una duración media del fluido resultante de casi mil años.

Ese dato, naturalmente, cambia sustancialmente las cosas. El origen de la vida en la Tierra parece que tuvo lugar en océanos y marismas poco profundas. La vida en la Tierra se compone principalmente de agua, que juega un papel esencial tanto en la física como en la química. En realidad, a nosotros, criaturas adictas al agua, nos resulta extraordinariamente difícil imaginar la vida sin ella. Si en nuestro planeta el origen de la vida se prolongó por un espacio de tiempo inferior a cien millones de años, ¿cabe alguna posibilidad de que en Titán se produjera en mil años? Con el *tholin* mezclado con agua líquida —aunque fuera solamente durante mil años— la superficie de Titán podría hallarse mucho más adelantada en su camino hacia el origen de la vida de lo que pensábamos.

A pesar de todo esto, lamentablemente sabemos muy poco acerca de Titán. Esta circunstancia se puso claramente de manifiesto en un simposio científico sobre Titán celebrado en Toulouse, Francia, y patrocinado por la Agencia Espacial Europea (ESA). Si bien la existencia de *océanos* de agua líquida es imposible en Titán, no lo son los océanos de hidrocarburos líquidos. Se supone que, no muy por encima de la superficie, hay nubes de metano (CH_4), el hidrocarburo más abundante. El siguiente hidrocarburo más abundante, el etano (C_2H_6), debe de condensarse en la superficie del mismo modo que el vapor de agua se convierte en líquido cerca de la superficie de la Tierra, donde las temperaturas oscilan entre el punto de congelación y el punto de fusión. Así pues, vastos océanos de

hidrocarburos líquidos deberían de haberse acumulado durante el periplo de vida de Titán. Estarían ubicados muy por debajo de la niebla y las nubes. Aunque ello no significa que fueran completamente inaccesibles para nosotros, ya que las ondas de radio penetran fácilmente la atmósfera de Titán con las finas partículas suspendidas en ella, que van precipitándose lentamente.

En Toulouse, Duane O. Muhleman, del Instituto de Tecnología de California, nos describió la difícil proeza técnica de transmitir una secuencia de pulsos de radio desde un radiotelescopio en el desierto Mojave, en California, con el objeto de que alcancen Titán, penetren a través de la capa de niebla y nubes hasta su superficie, sean reflejadas de vuelta al espacio y luego regresen a la Tierra. Una vez de vuelta, la debilitada señal es recogida por una serie de radiotelescopios cerca de Socorro, Nuevo México. Estupendo. Si Titán posee una superficie de hielo o de roca, un pulso de radar rebotado de su superficie debería ser detectable en la Tierra. Pero si Titán estuviera cubierto de océanos de hidrocarburos, Muhleman no captaría nada: los hidrocarburos líquidos son negros a estas ondas de radio y no habrían devuelto ningún eco a la Tierra. De hecho, el sistema de radar gigante de Muhleman capta una reflexión cuando ciertas longitudes de Titán miran hacia la Tierra, en tanto que no lo hace en otras longitudes. Podríamos concluir, en ese caso, que Titán posee océanos y continentes, y que debe de ser un continente el que ha reflejado las señales de vuelta a la Tierra. Pero si Titán es en este aspecto igual que la Tierra —para determinados meridianos (pongamos a través de Europa y África) principalmente continente y para otros (a través del Pacífico central, por poner un ejemplo) principalmente océano—, entonces se plantea otro problema.

La órbita de Titán alrededor de Saturno no es un círculo perfecto. Es notablemente achatada, o elíptica. Sin embargo, si Titán poseyera amplios océanos, el planeta gigante Saturno, alrededor del cual órbita, levantaría en Titán mareas sustanciales, y la fricción resultante de la marea daría forma circular a la órbita de Titán en un periodo de tiempo mucho menor a la edad del sistema solar.

En un informe científico de 1982 titulado *La marea en los océanos de Titán,* Stanley Dermott, actualmente en la Universidad de Florida, y yo argumentamos que, por esta razón, Titán debe de ser o bien un mundo todo océano o bien un mundo todo continente. De otro modo la fricción de la marea en lugares donde el océano es poco profundo habría pasado su factura. Tal vez pudiera haber lagos e islas, pero nada más, y Titán tendría una órbita muy diferente de la que vemos.

Así pues, tenemos tres argumentos científicos: uno llega a la conclusión de que este mundo está prácticamente cubierto de océanos de hidrocarburos; otro sostiene que es una mezcla de continentes y océanos, y el tercero nos obliga a elegir entre unos u otros, aduciendo que Titán no puede tener amplios océanos y vastos continentes a la vez. Será interesante descubrir cuál es la respuesta definitiva.

Lo que acabo de referir es una especie de informe del progreso científico. Mañana mismo puede producirse un nuevo hallazgo que aclare estos misterios y contradicciones. Tal vez haya algún error en los resultados del radar de Muhleman, aunque es difícil saber de cuál podría tratarse: su sistema le dice que

está viendo Titán cuando éste se halla más cerca, cuando efectivamente debería estar viendo Titán. Puede que exista algún fallo en nuestros cálculos sobre la evolución de las mareas sobre la órbita de Titán, pero hasta ahora nadie ha sido capaz de encontrar ningún error. Y es difícil imaginar cómo podría evitar el etano condensarse en la superficie de Titán.

Quizá, a pesar de las bajas temperaturas, a lo largo de billones de años se ha producido un cambio en la química; o puede que alguna combinación de cometas impactando del cielo y volcanes u otros eventos tectónicos, ayudados por los rayos cósmicos, sean capaces de congelar los hidrocarburos líquidos, convirtiéndolos en algún sólido orgánico complejo que refleje las ondas de radio de vuelta al espacio. O podría ser también que algo reflectivo a las ondas de radio flote en la superficie del océano. No obstante, los hidrocarburos líquidos son de muy baja densidad: cualquier sólido orgánico conocido, a menos que sea extremadamente espumoso, se hundiría como una piedra en los mares de Titán.

Dermott y yo nos preguntamos ahora si cuando imaginamos continentes y océanos en Titán no nos hallábamos demasiado anclados en nuestra experiencia de lo que es nuestro propio mundo, si no fuimos demasiado chauvinistas de la Tierra en nuestro modo de razonar. Los terrenos batidos, salpicados de cráteres y con abundantes cuencas de impacto cubren otras lunas en el sistema de Saturno. Si imagináramos hidrocarburos líquidos acumulándose lentamente en uno de esos mundos, no los consideraríamos océanos globales, sino grandes cráteres aislados llenos, aunque no hasta el borde, de hidrocarburos líquidos. Multitud de mares circulares de petróleo, algunos de más de 160 kilómetros de diámetro, salpicarían la superficie, pero no habría olas perceptibles estimuladas por el distante Saturno, y lo lógico sería pensar que no habría barcos, ni nadadores, ni surfistas, ni pescadores. La fricción de la marea debería ser insignificante, pensamos, en un caso así, y la órbita alargada, elíptica de Titán no se habría convertido en una órbita circular. No podremos tener ninguna certeza hasta que empecemos a recibir imágenes por radar o del infrarrojo cercano de su superficie. Pero puede que sea ésta la resolución de nuestro dilema: Titán como un mundo de grandes lagos de hidrocarburos, más abundantes en determinadas longitudes que en otras.

¿Debemos esperar una superficie helada, cubierta con profundos sedimentos de *tholin,* un océano de hidrocarburos con unas cuantas islas como mucho, con materia orgánica incrustada elevándose aquí y allá, un mundo de cráteres lacustres o algo más sutil que no hemos podido imaginar todavía? No se trata meramente de una pregunta académica, ya que se está diseñando una nave espacial auténtica para viajar a Titán. En un programa conjunto de la NASA y la ESA, una astronave bautizada con el nombre de *Cassini* será lanzada en octubre de 1997, si todo marcha de acuerdo con lo previsto. Con dos aproximaciones a Venus, una a la Tierra y una a Júpiter, en aras de la ayuda gravitatoria, tras un viaje de siete años de duración, la nave será inyectada en la órbita de Saturno. Cada vez que la astronave se acerque a Titán, la luna será examinada por un conjunto de instrumentos, incluyendo el radar. Puesto que *Cassini* estará mucho más cerca de

Titán, podrá resolver muchos detalles oscuros relacionados con su superficie que resultaban indetectables por medio del pionero sistema de Muhleman, basado en la Tierra. Es también muy probable que pueda contemplarse la superficie en el infrarrojo cercano. En alguna fecha del verano del año 2004 podríamos tener en nuestras manos mapas de la superficie oculta de Titán.

Cassini lleva también incorporado un vehículo de aterrizaje, oportunamente llamado *Huygens,* que se desacoplará de la nave principal y se dejará caer en la atmósfera de Titán, desplegando un gran paracaídas. El equipo instrumental irá descendiendo lentamente a través de la niebla orgánica hacia las capas bajas de la atmósfera, atravesando las nubes de metano. En su descenso analizará la química orgánica y, en caso de que sobreviva al aterrizaje, hará lo propio en la superficie de dicho mundo.

Nada está garantizado. Pero la misión es técnicamente realizable, se está construyendo el hardware; un impresionante enjambre de especialistas, incluyendo muchos jóvenes científicos europeos, están trabajando duro en ello, y todas las naciones responsables parecen comprometidas con el proyecto. Tal vez llegue a hacerse realidad. Quizá ese vuelo a través de miles de millones de kilómetros de espacio interplanetario pueda traernos noticias, en un futuro no demasiado distante, acerca del punto a que ha llegado Titán en su camino hacia la vida.

CAPÍTULO 8

EL PRIMER PLANETA NUEVO

Le imploro, ¿no esperará, acaso, ser capaz de aducir las razones para explicar el número de planetas?
Esa preocupación ha sido ya resuelta...
JOHANNES KEPLER
Epítome de astronomía copernicana, vol. 4 (1621)

Antes de que inventáramos la civilización, nuestros antepasados vivían principalmente al aire libre, fuera, bajo el cielo. Antes de que ideáramos luces artificiales, polución atmosférica y formas modernas de ocio nocturno, nos dedicábamos a contemplar las estrellas. Había razones calendáricas prácticas que lo avalaban, desde luego, pero había algo más que eso. Todavía hoy, el más hastiado de los habitantes de la ciudad puede sentir alguna vez la tentación de descubrir, en una noche clara, un cielo salpicado de miles de estrellas fulgurantes. Cuando me ocurre a mí, después de todos estos años, aún se me corta la respiración.

En toda cultura, el cielo y el impulso religioso se hallan entrelazados. Estoy tumbado en un prado y el cielo me rodea. Me siento subyugado por sus proporciones. Es tan vasto y está tan lejos que hace palpable mi insignificancia. Pero no me siento rechazado por él. Yo soy una parte del cielo, minúscula, claro está, pero todo es minúsculo comparado con esa abrumadora inmensidad. Y cuando me concentro en las estrellas, los planetas y sus movimientos me asalta una irrefrenable sensación de organización, de mecanismo de relojería, de elegante precisión funcionando a una escala que, con independencia de lo alto a que apunten nuestras aspiraciones, nos hace pequeños y humildes.

La mayor parte de los grandes inventos en la historia de la Humanidad —desde los utensilios de piedra y la domesticación del fuego hasta el lenguaje escrito— fueron realizados por benefactores desconocidos. Nuestra memoria institucional en relación con eventos de un pasado lejano es débil. No sabemos el nombre de aquel antepasado que, por primera vez, comprendió que los planetas eran distintos de las estrellas. Ella o él vivió seguramente decenas o incluso centenas de miles de años atrás. Pero, finalmente, todo el mundo comprendió que cinco, no más, de esos puntos brillantes de luz que adornan el cielo nocturno rompen filas

respecto a los demás durante un periodo de meses, moviéndose de forma extraña, casi como si estuvieran dotados de inteligencia.

Compartiendo el curioso movimiento aparente de esos planetas estaban el Sol y la Luna, sumando en total siete cuerpos itinerantes. Estos siete eran importantes para los antiguos, y les asignaron nombres de dioses, pero no de dioses antiguos cualesquiera, sino los nombres de los dioses principales, los jefes, los que dictan a los demás dioses (y a los mortales) lo que deben hacer. A uno de los planetas, relumbrante y de lento movimiento, los babilonios lo bautizaron con el nombre de Marduk, los nórdicos con el de Odín, los griegos con el de Zeus y los romanos con el de Júpiter, en cada caso el rey de los dioses. Al planeta pálido y de veloz movimiento que nunca se hallaba lejos del Sol los romanos lo llamaron Mercurio, el nombre del mensajero de los dioses; el más brillante de ellos recibió el nombre de Venus, la diosa del amor y la belleza; el de color rojo como la sangre fue Marte, como el dios de la guerra; y el más perezoso del grupo se llamó Saturno, en honor al dios del tiempo. Estas metáforas y alusiones eran lo mejor que podían hacer nuestros antepasados: no poseían más instrumento científico que sus propios ojos, se hallaban confinados en la Tierra y no tenían la menor idea de que también ésta es un planeta.

Hubo un momento en los últimos cuatro mil años en que esos siete cuerpos celestes se colocaron en línea. Poco antes del amanecer del 4 de marzo del año 1953 a. J.C. la Luna creciente brillaba en el horizonte. Venus, Mercurio, Marte, Saturno y Júpiter se hallaban alineados como perlas en un collar junto al gran cuadrado en la constelación Pegaso, cerca del lugar del cual emana en la actualidad la lluvia de meteoritos de las Perseidas. Incluso los observadores casuales del firmamento debieron de quedarse trasmudados por el acontecimiento. ¿Qué era? ¿Una comunión de los dioses? Según Kevin Pang, del JPL, dicho evento constituyó el punto de partida de los ciclos planetarios de los antiguos astrónomos chinos.

No ha habido otra ocasión en los últimos cuatro mil años (ni la habrá en los próximos) en que la danza de los planetas alrededor del Sol los conjugue de este modo, vistos desde la Tierra. Pero el 5 de mayo del año 2000 los siete serán visibles en la misma parte del cielo, si bien algunos al amanecer y otros durante el crepúsculo, y unas diez veces más separados que en esa mañana de invierno del año 1953 a. J.C. Aun así, ésa será probablemente una noche idónea para celebrar una fiesta.

Cuando llegó el momento de diseñar la semana —un lapso de tiempo que, a diferencia del día, el mes y el año, no tiene una significación astronómica intrínseca— le fueron asignados siete días, cada uno de ellos bautizado con el nombre de una de esas anómalas luces del cielo nocturno, Los remanentes de dicha convención son hoy evidentes. En inglés, *Saturday* (sábado) es el día de Saturno. *Sunday* (domingo) y *Mo(o)nday* (lunes) quedan suficientemente claros*.

Los días restantes reciben los nombres de los dioses de los pueblos sajones y teutónicos invasores de la Britania céltico-romana: *Wednesday* (miércoles), por ejemplo, corresponde al día de Odín (o Wodin), lo cual quedaría más claro si lo

* En inglés, *moon* significa luna y *sun,* sol. *(Nota de la traductora.)*

pronunciáramos como se escribe, *Wedn's Day; Thursday* (jueves) es el día de Thor; *Friday* (viernes) es el día de Freya, diosa del amor. En el último día de la semana se conservó la tradición romana, pero el resto adoptó la germánica.

En todas las lenguas neolatinas, como el francés, castellano e italiano, la conexión es aún más obvia, ya que todas ellas derivan del latín, donde los nombres de los días de la semana (en orden, empezando por el domingo) derivan del Sol, la Luna, Marte, Mercurio, Júpiter, Venus y Saturno. El día del Sol se convirtió en el día del Señor, en latín *dominus.* Podían haber nombrado los días por orden de resplandor de los cuerpos astronómicos correspondientes, el Sol, la Luna, Venus, Júpiter, Marte, Saturno, Mercurio (así pues, domingo, lunes, viernes, jueves, martes, sábado y miércoles), pero no lo consideraron oportuno. Si los días de la semana en las lenguas romance hubieran sido ordenados según la distancia de los planetas respecto al Sol, la secuencia sería domingo, miércoles, viernes, lunes, martes, jueves y sábado. No obstante, nadie conocía el orden de los planetas en los tiempos en que se estaban asignando los nombres a los mismos planetas, a los dioses y a los días de la semana. El orden de los días de la semana parece pues arbitrario, aunque quizá reconoce la primacía del Sol.

Esta agrupación de siete dioses, siete días y siete mundos —el Sol, la Luna y los cinco planetas itinerantes— se introdujo de forma generalizada en la percepción de la gente. El número siete empezó a adquirir connotaciones sobrenaturales. Había siete «cielos», las esferas transparentes centradas en la Tierra que, se suponía, inducían el movimiento de esos mundos. El más exterior, el séptimo cielo, era donde se suponía que residían las estrellas «fijas». Están también los siete días de la Creación (si incluimos el día en que Dios descansó), los siete orificios de la cabeza, las siete virtudes, los siete pecados capitales, los siete demonios maléficos del mito sumerio, las siete vocales del alfabeto griego (cada una asociada a un dios planetario), los siete gobernadores del destino en la tradición hermética, los siete grandes libros del maniqueísmo, los siete sacramentos, los siete sabios de la Antigua Grecia y los siete «cuerpos» de la alquimia (oro, plata, hierro, mercurio, plomo, estaño y cobre; el oro asociado con el Sol, la plata con la Luna, el hierro con Marte, etc.). El séptimo hijo de un séptimo hijo está dotado de poderes sobrenaturales. El siete es un número de la «suerte». En el Apocalipsis del Nuevo Testamento se abren siete sellos que lacran un rollo de papiro, se tocan siete trompetas, se llenan siete copas. San Agustín argumenta confusamente en favor de la importancia mística del siete alegando que el tres «es el primer número impar» *(¿y* qué pasa con el uno?) y el «cuatro es el primer número par» *(¿y* qué pasa con el dos?), y «con ambos... se compone el siete». Etcétera, etcétera. En nuestros días persisten estas asociaciones.

Incluso la existencia de los cuatro satélites de Júpiter que descubrió Galileo —apenas planetas— fue rechazada por poner en duda la precedencia del número siete. A medida que fue creciendo la aceptación del sistema copernicano, la Tierra fue añadida a la lista de planetas y el Sol y la Luna fueron tachados de la misma. En consecuencia, al parecer existían solamente seis planetas (Mercurio, Venus, la

Tierra, Marte, Júpiter y Saturno). Así pues, se inventaron argumentos académicos aprendidos que demostraban por qué *tenía* que haber seis. Por ejemplo, seis es el primer número «perfecto», igual a la suma de sus divisores (1+2+3). *Quod erat demonstrandum* (lo que queríamos demostrar). Y, de todos modos, fueron solamente seis los días de la Creación, no siete. La gente buscaba formas de acomodarse de siete planetas a seis.

Cuando estos adeptos al misticismo numerológico se ajustaron al sistema copernicano, esta manera autoindulgente de pensar cambió los planetas por lunas. La Tierra tenía una luna; Júpiter contaba con las cuatro lunas galileanas. Sumaban cinco. Estaba claro que faltaba una. (No olvidemos que seis es el número perfecto.) Cuando Huygens descubrió Titán en 1655, él y muchos otros se convencieron a sí mismos de que era la última: seis planetas, seis lunas y Dios en su Cielo.

El historiador de la ciencia I. Bernard Cohen, de la Universidad de Harvard, ha señalado que, de hecho, Huygens abandonó la búsqueda de otras lunas porque de esos argumentos se desprendía que ya no quedaban más lunas por encontrar. Dieciséis años más tarde, irónicamente con Huygens de servicio, G. D. Cassini*, del Observatorio de París, descubrió una séptima, Japeto, un extraño mundo con un hemisferio negro y el otro blanco, en una órbita exterior a la de Titán. Poco después Cassini dio con Rea, la siguiente luna saturniana, interior a Titán.

Se presentaba pues otra oportunidad para la numerología, esta vez aprovechada para la tarea práctica de adulación de un benefactor. Cassini sumó el número de planetas (seis) y el número de satélites (ocho) y obtuvo el número catorce. Se dio la circunstancia de que el hombre que construyó para Cassini su observatorio y pagaba su salario era Luis XIV de Francia, el Rey Sol. El astrónomo no tardó en «presentar» estas dos nuevas lunas a su soberano y proclamar que las «conquistas» de su majestad alcanzaban hasta los confines del sistema solar. A partir de entonces, Cassini renunció discretamente a la búsqueda de nuevas lunas. Cohen sugiere que el hombre temía que el hallazgo de una más ofendería a Luis, un monarca con el que no se debía jugar, pues no vacilaba en arrojar a sus súbditos a las mazmorras por el mero crimen de ser protestantes. Sin embargo, al cabo de doce años Cassini volvió a la carga y encontró —no exento, sin duda, de cierto nerviosismo— dos lunas más. (Probablemente fue una suerte que no continuáramos con esa vena, pues de otro modo Francia habría tenido que soportar la carga de sesenta y tantos reyes borbones llamados Luis.)

Cuando se reivindicaba la existencia de nuevos mundos a fines del siglo XVIII, la fuerza de esta clase de argumentos numerológicos había disminuido notablemente. Aun así, el anuncio en 1781 del descubrimiento de un nuevo planeta a través del telescopio fue acogido con auténtica sorpresa. Comparativamente, el hallazgo de nuevas lunas ya no impresionaba demasiado, en especial después de las primeras seis u ocho. Pero que hubiera nuevos *planetas* por descubrir y que el ser humano hubiera creado un medio para hacerlo se consideró del todo asombroso. Si todavía queda un planeta desconocido, puede haber muchos más,

---

* Con el nombre del cual ha sido bautizada la misión europeo-americana al sistema de Saturno.

tanto en este sistema solar como en otros. ¿Quién puede aventurar lo que se puede llegar a encontrar si hay multitud de nuevos mundos ocultos en la oscuridad?

El descubrimiento ni siquiera fue realizado por un astrónomo profesional, sino por William Herschel, un músico cuyos parientes habían llegado a Gran Bretaña con la familia de otro alemán anglicanizado, el monarca reinante y futuro opresor de los colonos americanos Jorge III. Herschel se empeñó en llamar Jorge al planeta («estrella de Jorge», en realidad), el nombre de *su* protector, pero, providencialmente, éste no llegó a mantenerse. (Parece que los astrónomos andaban muy ocupados lisonjeando a los reyes.) En su lugar, el planeta descubierto por Herschel se denomina Urano (una inagotable fuente de hilaridad, renovada en cada generación de vástagos angloparlantes de nueve años*). Debe su nombre al antiguo dios del cielo, quien, según la mitología griega, era el padre de Saturno y, por tanto, el abuelo de los dioses del Olimpo.

Ya no consideramos al Sol y la Luna como planetas y —ignorando los asteroides y cometas comparativamente insignificantes— contamos a Urano como el séptimo planeta, ordenándolos desde el Sol (Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón). Se trata del primer planeta que era desconocido en la antigüedad. Los cuatro planetas exteriores, jovianos, son muy diferentes de los cuatro interiores, terrestres. Plutón es un caso aparte.

A medida que fueron pasando los años y mejorando la calidad de los instrumentos astronómicos fuimos aprendiendo más cosas en relación con el distante Urano. Lo que refleja la pálida luz solar de vuelta hasta nosotros no es una superficie sólida, sino atmósfera y nubes, al igual que sucede con Titán, Venus, Júpiter, Saturno y Neptuno. El aire en Urano se compone de hidrógeno y helio, los dos gases más simples. También están presentes el metano y otros hidrocarburos. Justo por debajo de las nubes visibles para los observadores terrestres hay una atmósfera masiva, con enormes cantidades de amoniaco, sulfuro de hidrógeno y, especialmente, agua.

En profundidad sobre Júpiter y Saturno, las presiones son tan grandes que los átomos sudan electrones y el aire se convierte en un metal. Eso no parece ocurrir en Urano, menos masivo, ya que las presiones en profundidad son menores. Más abajo todavía, descubierta únicamente por sus sutiles tirones sobre las lunas de Urano, completamente inaccesible a la vista, bajo el peso agobiante de la atmósfera existente, hay una superficie rocosa. Un gran planeta parecido a la Tierra se esconde allí, envuelto en una inmensa manta de aire.

La temperatura de la superficie de la Tierra es debida a la luz solar que intercepta. Si apagáramos el Sol, el planeta se enfriaría rápidamente; no sufriríamos un frío antártico, no llegarían a congelarse los mares, pero sí haría un frío intenso que provocaría la precipitación del aire, formando una capa de diez metros de espesor de nieves de oxígeno y nitrógeno que cubriría todo el planeta. La pequeña cantidad de energía que aflora del caliente interior de la Tierra resultaría insuficiente para fundir dichas nieves. Los casos de Júpiter, Saturno y

* En inglés se pronuncia igual que «*your anus*», que significa «tu ano». *(Nota de la traductora.)*

Neptuno son distintos. Sus interiores desprenden casi tanto calor como el que absorben de los rayos del distante Sol. Si el Sol se extinguiera se verían muy poco afectados.

Pero Urano ya es harina de otro costal. Dicho planeta constituye una anomalía entre los planetas jovianos. Urano es como la Tierra: su interior desprende muy poco calor. No sabemos a qué achacarlo, por qué razón Urano —que en muchos aspectos es tan similar a Neptuno— carece de una fuente potente de calor interno. Por esa razón, entre otras, no podemos decir que comprendamos lo que sucede en las profundidades interiores de esos mundos extraordinarios.

Urano gira alrededor del Sol en sentido horizontal. En la década de los noventa, el polo sur es calentado por el Sol, y es ese polo el que perciben los observadores de la Tierra a fines del siglo XX al contemplar Urano. Este planeta invierte 84 años terrestres en completar una vuelta al Sol. Así pues, en la década del 2030 el polo norte se encontrará apuntando al Sol (y a la Tierra). En la del 2070 será de nuevo el polo sur el que mire en dirección al Sol. Entretanto, los astrónomos destacados en la Tierra estarán vislumbrando principalmente latitudes ecuatoriales del planeta Urano.

Los demás planetas efectúan la rotación mucho más verticales en sus órbitas. No se conoce con seguridad la razón que explica esa rotación anómala del planeta Urano; la sugerencia más prometedora aduce que en algún momento de su historia primitiva, miles de millones de años atrás, Urano fue impactado por un planeta errante, aproximadamente del tamaño de la Tierra, en una órbita muy excéntrica. Semejante colisión, si es que tuvo lugar, debió de provocar una gran conmoción en el sistema de Urano; por lo poco que sabemos, es posible que nos queden por hallar otros vestigios de esa antigua devastación. Pero la lejanía de Urano tiende a preservar sus misterios.

En 1977, un equipo de científicos dirigido por James Elliot, en aquel entonces trabajando en la Universidad de Cornell, descubrió casualmente que, al igual que Saturno, Urano posee anillos. Los científicos sobrevolaban el océano Índico en un avión especial de la NASA —el Observatorio Aerotransportado Kuiper— para presenciar el paso de Urano frente a una estrella. (Estos acontecimientos, que reciben el nombre de ocultaciones, se producen de vez en cuando, precisamente porque Urano se mueve muy lentamente respecto a las estrellas distantes.) Los observadores quedaron asombrados al comprobar que la estrella centelleaba intermitentemente repetidas veces antes de pasar por detrás de Urano y su atmósfera, y luego varias veces más justo después de emerger. Dado que el esquema de parpadeo intermitente se repetía antes y después de la ocultación, este hallazgo (y mucho del trabajo subsiguiente) condujo al descubrimiento de nueve anillos circumplanetarios muy finos y oscuros, que otorgan a Urano la apariencia de una diana en el cielo.

Los observadores terrestres llegaron a la conclusión de que, rodeando a los anillos, se hallaban las órbitas concéntricas de las cinco lunas conocidas hasta entonces: Miranda, Ariel, Umbriel, Titania y Oberón. Sus nombres se deben a

personajes de las obras de Shakespeare *El sueño de una noche de verano* y *La tempestad y* de *El rizo robado* de Alexander Pope. Dos de ellas fueron descubiertas por el mismo Herschel. La más interior de las cinco, Miranda*, fue detectada por mi profesor G. P. Kuiper en fecha tan reciente como el año 1948. Recuerdo hasta qué punto se consideró un gran logro en esa época el descubrimiento de una nueva luna de Urano. La luz en el infrarrojo cercano reflejada por esas cinco lunas dejó patente la rúbrica espectral de la presencia de hielo común de agua en sus superficies. Y no es de extrañar, pues Urano se halla tan alejado del Sol que no puede haber allí más luz al mediodía de la que hay en la Tierra tras la puesta de sol. Las temperaturas son muy frías. El agua que pueda haber tiene que estar congelada.

La involución en nuestra comprensión del sistema de Urano —el planeta, sus anillos y sus lunas— se inició el 24 de enero de 1986. Ese día, tras un viaje de ocho años y medio, la nave espacial *Voyager 2* llegó muy cerca de Miranda y acertó en el blanco de la diana. Entonces la gravedad de Urano lo impulsó hasta Neptuno. La nave transmitió 4300 primeros planos del sistema de Urano y gran profusión de otros datos.

Se descubrió que Urano está rodeado por un cinturón de radiación intensa, electrones y protones cautivos en el campo magnético del planeta. El *Voyager* voló a través de dicho cinturón, midiendo a su paso el campo magnético y las partículas cargadas atrapadas. Asimismo, detectó —con timbres, armonías y matices cambiantes, pero fundamentalmente en *fortissimo*— una cacofonía de ondas de radio generadas por las partículas cautivas en movimiento. Algo similar fue hallado en Júpiter y Saturno, y se encontraría más tarde en Neptuno, aunque siempre con un tema y contrapunto característicos de cada mundo.

En la Tierra, los polos magnéticos y geográficos se hallan bastante cercanos. En Urano, en cambio, el eje magnético y el eje de rotación presentan unos sesenta grados de separación entre sí. Nadie hasta el momento ha logrado explicarse el porqué: hay quien sugiere que estamos tomando a Urano con una inversión de sus polos magnéticos norte y sur, al igual que ocurre periódicamente en la Tierra. Otros proponen que también eso es producto de esa extraordinaria colisión de la antigüedad que volteó al planeta. Pero no lo sabemos.

Urano emite mucha más luz ultravioleta de la que recibe del Sol, generada probablemente por las partículas cargadas que escapan de la magnetosfera y chocan contra las capas altas de la atmósfera. Desde alguna posición en el sistema de Urano, la nave espacial examinó una estrella brillante que parpadeaba de forma intermitente a medida que iban pasando los anillos del planeta. Encontró nuevas y tenues bandas de polvo. Desde la perspectiva de la Tierra, el *Voyager* pasó por detrás de Urano; así pues, las señales de radio que transmitía de vuelta a casa pasaron tangencialmente a través de la atmósfera de Urano, sondeándola por

* La llamó así recordando las palabras de Miranda, la heroína de *La Tempestad:* «¡Oh, valeroso nuevo mundo, que alberga en él gente así!» (A lo cual Próspero responde: «Es nuevo para ti.» Así de claro. Como todos los demás mundos del sistema solar, Miranda tiene cerca de 4500 millones de años de antigüedad.)

debajo de sus nubes de metano. Algunos han deducido la existencia de un vasto y profundo océano de agua líquida a temperaturas muy elevadas, tal vez de unos ocho mil kilómetros de espesor, flotando en el aire.

Entre las principales glorias del encuentro con Urano se cuentan las imágenes. Con las dos cámaras de televisión del *Voyager* descubrimos diez nuevas lunas, determinamos la longitud del día en las nubes de Urano (alrededor de unas diecisiete horas) y estudiamos cerca de una docena de anillos. Las imágenes más espectaculares fueron las que recibimos de las cinco lunas más grandes de Urano, ya conocidas con anterioridad, especialmente las de la más pequeña, la Miranda de Kuiper. Su superficie es un tumulto de valles de fallas, aristas paralelas, abruptos acantilados, montañas bajas, cráteres de impacto y torrentes congelados de material de la superficie, que en su momento se fundió. Este agitado paisaje resulta inesperado para un mundo pequeño, frío y helado, tan distante del Sol. Es posible que la superficie se fundiera y reestructurara en una época remota, cuando una resonancia gravitacional entre Urano, Miranda y Ariel bombeó energía desde el planeta vecino al interior de Miranda. O quizá lo que vemos sean los resultados de la colisión primitiva que se cree que volteó a Urano. Aunque también cabría dentro de lo concebible que Miranda hubiera sido destruida por completo, desmembrada, reducida a añicos por un salvaje mundo tambaleante y hubieran quedado muchos fragmentos de la colisión en la órbita de dicha luna. Estos restos, tras chocar lentamente entre sí y atraerse gravitatoriamente unos a otros, pudieron reagregarse formando un mundo revuelto, hecho de parches e inacabado como es Miranda en la actualidad.

Para mí, hay algo que da pavor en las imágenes de la oscura Miranda, porque me acuerdo perfectamente de cuando no era más que un punto de luz casi perdido en el resplandor de Urano, descubierto con gran dificultad por los astrónomos a fuerza de habilidad y paciencia. En tan sólo media vida ha pasado de ser un mundo desconocido a constituir un destino cuyos antiguos e idiosincráticos secretos han sido revelados, al menos parcialmente.

CAPÍTULO 9

UNA NAVE AMERICANA EN LAS FRONTERAS DEL SISTEMA SOLAR

... junto a la orilla
del Lago de Tritón...
Voy a limpiar mi pecho de secretos.
EURÍPIDES, *Ion* (aprox. 413 a. J.C.)

Neptuno era el puerto final del gran *tour* alrededor del sistema solar que debía realizar el *Voyager 2.* Por lo general es considerado el penúltimo planeta, siendo Plutón el más exterior. Pero dado lo estirado y elíptico de la órbita de Plutón, Neptuno viene siendo últimamente el planeta más exterior, y así permanecerá hasta el año 1999. Las temperaturas típicas en sus nubes más altas rondan los —240 centígrados, al encontrarse tan alejado de los calientes rayos del Sol. Todavía estaría más frío de no ser por el calor que se filtra desde su interior. Neptuno se desliza por el borde de la noche interestelar. Es tanta la distancia que lo separa del Sol que, en su cielo, éste aparece como poco más que una estrella extraordinariamente brillante.

¿Muy lejos? Tan lejos que todavía hoy no ha completado ni una sola vuelta alrededor del Sol, que equivale a un año de Neptuno, desde su descubrimiento en 1846*.

Se encuentra tan alejado que no es perceptible a simple vista. Tan alejado, que la luz —que viaja más rápido que ninguna otra cosa— tarda más de cinco horas en llegar de Neptuno a la Tierra.

Cuando el *Voyager 2* atravesó el sistema de Neptuno en 1989, sus cámaras, espectrómetros, detectores de campo y de partículas y demás instrumentos examinaron a un ritmo febril el planeta, sus lunas y también sus anillos. El planeta,

* Tarda tanto tiempo en completar una vuelta alrededor del Sol porque su órbita es extraordinariamente amplia, 37000 millones de kilómetros en derredor, y porque la fuerza de la gravedad del Sol, que le impide salir despedido hacia el espacio interestelar, es a esa distancia comparativamente débil, menos de una milésima de la fuerza que ejerce en las proximidades de la Tierra.

al igual que sus primos Júpiter, Saturno y Urano, es un gigante. Todos los planetas son en el fondo mundos similares a la Tierra, pero los cuatro gigantes llevan disfraces muy pesados y elaborados. Júpiter y Saturno son grandes mundos gaseosos con núcleos rocosos y helados relativamente pequeños. Pero Urano y Neptuno son fundamentalmente mundos de roca y hielo envueltos en densas atmósferas que los ocultan a la vista.

Neptuno es cuatro veces mayor que la Tierra. Cuando contemplamos su frío y austero color azul, de nuevo estamos viendo solamente atmósfera y nubes, no superficie sólida. Su atmósfera, una vez más, se compone principalmente de hidrógeno y helio, con una pequeña porción de metano y rastros de otros hidrocarburos. También puede haber algo de nitrógeno. Sus nubes luminosas, que al parecer son cristales de metano, flotan sobre otras más espesas y profundas de composición desconocida. A partir del movimiento de las nubes pudimos descubrir la existencia de feroces vientos, de intensidad cercana a la velocidad local del sonido. También detectamos la presencia de una Gran Mancha Oscura, curiosamente, casi en la misma latitud en que se encuentra la Gran Mancha Roja de Júpiter. El color azul celeste parece apropiado para un planeta que lleva el nombre del dios de los mares.

Alrededor de ese mundo tenuemente iluminado, gélido, tormentoso y remoto, existe —también aquí— un sistema de anillos, cada uno de ellos compuesto de innumerables objetos orbitantes cuyo tamaño oscila entre el de las finas partículas del humo de un cigarrillo y el de un camión pequeño. Al igual que los anillos de los restantes planetas jovianos, los de Neptuno son, aparentemente, evanescentes; se calcula que la gravedad y la radiación solar acabarán por disgregarlos en un periodo de tiempo mucho menor a la edad del sistema solar. Si se destruyen rápidamente, ello significa que podemos verlos gracias a que se formaron recientemente. Pero ¿cómo pueden formarse esos anillos?

La luna más grande en el sistema de Neptuno se llama Tritón*.

Necesita casi seis días de los nuestros para completar la órbita alrededor de Neptuno, lo cual lleva a cabo —es la única de las grandes lunas del Sistema Solar que lo hace— en la dirección opuesta a la rotación de su planeta (en el sentido de las agujas del reloj si convenimos que Neptuno lo hace en el sentido contrario). Tritón posee una atmósfera rica en nitrógeno, en cierto modo similar a la de Titán; pero, dado que el aire y la niebla son mucho más delgados, podemos vislumbrar su superficie. Sus paisajes son variados y espléndidos. Se trata de un mundo de hielos: hielo de nitrógeno y hielo de metano, probablemente con un fondo de hielo de agua y roca. Se observa la presencia de cuencas de impacto que, al parecer, estuvieron inundadas de líquido antes de congelarse (de modo que en algún momento hubo lagos en Tritón); también presenta cráteres de impacto, valles

* Robert Goddard, el inventor del cohete moderno de combustible líquido, imaginó un tiempo en que las expediciones a las estrellas se equiparían y serían lanzadas desde Tritón. Eso fue en una ocurrencia posterior, fechada en 1927, a un manuscrito de 1918 llamado *La última migración*. Considerado atrevido en extremo para ser publicado, fue depositado en la caja fuerte de uno de sus amigos. La portada contiene una advertencia: «Estas notas sólo deben ser leídas con atención por personas optimistas.»

cruzados en todas direcciones, amplias llanuras cubiertas de nieves de nitrógeno, caídas recientemente, terreno arrugado que se asemeja a la piel de un cantaloupe* y unas rayas largas, oscuras y más o menos paralelas que parecen haber sido arrastradas por el viento y luego depositadas sobre la superficie helada, a pesar de lo escasa que es la atmósfera de Tritón (aproximadamente 1/10000 del espesor de la atmósfera de la Tierra).

Todos los cráteres de Tritón son prístinos, como si hubieran sido estampados por algún enorme mecanismo de acuñación. No se observan paredes derruidas ni relieves modificados. Incluso con la periódica caída y evaporación de nieves, parece como si nada hubiera erosionado la superficie de Tritón a lo largo de miles de millones de años. Así pues, todos los cráteres que fueron excavados durante la formación de Tritón debieron de rellenarse y quedar cubiertos por algún fenómeno primitivo de reestructuración global de la superficie. Tritón órbita alrededor de Neptuno en la dirección opuesta a la rotación de dicho planeta, a diferencia de lo que sucede con la Tierra y su luna, así como con la mayoría de las grandes lunas del sistema solar. Si Tritón se hubiera formado a partir del mismo disco rotatorio que produjo a Neptuno, debería dar vueltas a su alrededor en la misma dirección de rotación que éste. Así pues, Tritón no se originó en la nebulosa local original alrededor de Neptuno, sino que surgió en alguna otra parte —quizá mucho más allá de Plutón— y fue capturada de forma casual por su gravedad al pasar demasiado cerca de él. Este evento tuvo que levantar enormes mareas de cuerpos sólidos en Tritón, frunciendo su superficie y borrando toda huella de su topografía anterior.

En algunos lugares la superficie es tan blanca y brillante como las nieves antárticas recién caídas (y puede ofrecer una experiencia de esquí sin igual en todo el sistema solar). En otros aparece teñida, presentando matices que van desde el rosa hasta el marrón. Una explicación posible sería la siguiente: nieves recién caídas de nitrógeno, metano y otros hidrocarburos son irradiadas por luz solar ultravioleta y por electrones atrapados en el campo magnético de Neptuno, a través del cual avanza laboriosamente Tritón. Sabemos que semejante irradiación convertiría las nieves (y los gases correspondientes) en sedimentos orgánicos complejos, rojizos y oscuros, *tholin* de hielo, sin indicios de vida, pero también aquí compuesto de algunas de las moléculas implicadas en el origen de la vida en la Tierra, cuatro mil millones de años atrás.

Durante el invierno local, las capas de hielo y nieve van acumulándose sobre la superficie. (Afortunadamente, la duración de nuestros inviernos es, en comparación, tan sólo de un cuatro por ciento.) A lo largo de la primavera sufren una lenta transformación y van acumulándose cada vez más moléculas orgánicas rojizas. Hacia el verano, el hielo y la nieve se han evaporado. Los gases liberados en el proceso emigran a través del planeta hasta el hemisferio de invierno y, una vez allí, cubren de nuevo la superficie de hielo y nieve. Pero las moléculas orgánicas rojizas no se evaporan ni son transportadas, constituyen un depósito

* Cierta variedad de melón. *(Nota de la traductora.)*

rezagado y, al invierno siguiente, son cubiertas por nuevas nieves, que reciben a su vez la radiación, de manera que cada verano la capa de sedimento se hace más gruesa. A medida que pasa el tiempo, cantidades sustanciales de materia orgánica van apilándose sobre la superficie de Tritón, lo cual puede explicar sus delicadas marcas de color.

Las rayas se inician en regiones de origen pequeñas y oscuras, quizá cuando las altas temperaturas primaverales y veraniegas calientan las volátiles nieves subterráneas. Al vaporizarse, el gas sale disparado como en un geiser, arrastrando consigo las nieves y materia orgánica oscura menos volátil de la superficie. Los vientos de intensidad moderada se llevan por delante la materia orgánica, que va sedimentando lentamente en ese aire ligero y es depositada en el suelo, generando la apariencia de las rayas. Ésta es, por lo menos, una reconstrucción de la historia tritoniana reciente.

Tritón podría tener grandes casquetes polares estacionales de liso hielo de nitrógeno bajo capas de materiales orgánicos oscuros. Nieves de nitrógeno parecen haber caído recientemente en el ecuador. Precipitaciones de nieve, géiseres, polvo orgánico movido por el viento, así como nieblas de gran altitud, son fenómenos que resultan del todo inesperados en un mundo que posee una atmósfera tan delgada.

¿Por qué es tan ligero el aire? La razón es que Tritón se encuentra extremadamente alejado del Sol. Si pudiéramos coger este mundo y ponerlo en órbita alrededor de Saturno, los hielos de nitrógeno y metano se evaporarían rápidamente, se formaría una atmósfera mucho más densa de nitrógeno y metano gaseosos y la radiación generaría una niebla opaca de *tholin.* Se convertiría entonces en un mundo muy parecido a Titán. Si, a la inversa, situáramos a Titán en órbita alrededor de Neptuno, casi toda su atmósfera se helaría produciendo nieves y hielos, el *tholin* desaparecería y no sería reemplazado, el aire se aclararía y su superficie sería visible con luz normal. Obtendríamos un mundo muy parecido a Tritón.

Esos dos mundos no son idénticos. El interior de Titán parece contener mucho más hielo que el de Tritón, y una cantidad de roca notablemente menor. El diámetro de Titán dobla casi al de Tritón.

Aun así, si estuvieran ubicados a la misma distancia del Sol, parecerían hermanos. Alan Stern, del Instituto de Investigación del Sudoeste, sugiere que se trata de dos miembros de una amplia colección de pequeños mundos, ricos en nitrógeno y metano, que se formaron en el sistema solar primitivo. Plutón, que todavía debe ser visitado por una nave espacial, parece otro miembro de dicho grupo. Puede que más allá de Plutón, muchos más estén esperando a ser descubiertos. Las delgadas atmósferas y superficies heladas de todos esos mundos están siendo irradiadas —al menos por rayos cósmicos, si no por otro tipo de rayos— y se están formando conglomerados orgánicos ricos en nitrógeno. Así pues, parece indudable que la materia de la vida no solamente se halla presente en Titán, sino que se encuentra esparcida por los pálidos y fríos confines más

exteriores de nuestro sistema planetario.

Recientemente se ha descubierto otra clase de objetos pequeños, cuyas órbitas los llevan —al menos parte del tiempo— más allá de Neptuno y Plutón. Llamados en ocasiones planetas menores o asteroides, es más probable que se trate de cometas inactivos (sin cola, claro está; tan lejos del Sol sus hielos no tienen ocasión de vaporizarse con facilidad). No obstante, son más grandes que los cometas que comúnmente conocemos. Podrían ser la vanguardia de una amplia serie de pequeños mundos que se extienden desde la órbita de Plutón hasta medio camino de la estrella más cercana. La provincia más interior de la Nube de cometas de Oort, de la cual posiblemente formen parte estos nuevos objetos, recibe el nombre de Cinturón de Kuiper, en honor a mi tutor Gerard Kuiper, el primero en sugerir su existencia. Los cometas de corto periodo —como el Halley— surgen en el Cinturón de Kuiper, responden a los impulsos gravitatorios, van a parar a la parte interior del sistema solar, desarrollan sus colas y adornan nuestros cielos.

A fines del siglo XIX, esos bloques constructivos de mundos —entonces meras hipótesis— eran llamados «planetesimales». La palabra nos recuerda, supongo, de alguna manera, a «infinitesimales»: se necesita un número infinito de ellos para llegar a formar algo. No es *tan* extremo el caso de estos corpúsculos del espacio, si bien sería necesario un gran número de ellos para formar un planeta. Por ejemplo, para llegar a formar un planeta con la masa de la Tierra se requeriría la aglutinación de billones de cuerpos del tamaño de un kilómetro cada uno. Una vez hubo cantidades mucho mayores de pedazos de mundo en la porción planetaria del sistema solar. La mayoría de ellos han desaparecido en la actualidad, ya sea eyectados al espacio interestelar, engullidos por el Sol o sacrificados en la gran empresa de construir, lunas y planetas. Pero, más allá de Neptuno y Plutón, los desechos, los remanentes que nunca fueron agregados a mundos pueden estar a la espera, unos pocos más bien grandes, del orden de los cien kilómetros, y cantidades realmente imponentes de cuerpos de un kilómetro y más pequeños, salpicando el sistema solar exterior en todo el camino hacia la Nube de Oort.

En este sentido, sí hay planetas más allá de Neptuno y Plutón, pero ni con mucho tan grandes como los planetas jovianos, ni siquiera como Plutón. Mundos más grandes podrían ocultarse, por lo que sabemos, en la oscuridad más allá de Plutón, mundos que pueden ser llamados con toda propiedad planetas. Cuanto más alejados se encuentran, menos probabilidades existen de que hayamos podido detectarlos. Sin embargo, no pueden estar demasiado cerca de Neptuno, pues sus tirones gravitatorios habrían alterado perceptiblemente las órbitas de Neptuno y Plutón, así como las trayectorias de las naves espaciales *Pioneer 10* y *11* y *Voyager 1 y 2.*

Los cuerpos cometarios recién descubiertos (con nombres como 1992 QB y 1993 FW) no son planetas en este sentido. Si nuestro umbral de detección no ha podido abarcarlos hasta ahora, es muy probable que queden muchos de ellos por descubrir en el sistema solar exterior, tan lejos, que difícilmente son visibles desde la Tierra, tan lejos, que llegar hasta ellos requiere un viaje larguísimo. Pero naves

pequeñas y rápidas con destino a Plutón y más allá entran dentro de nuestras capacidades. Sería una excelente idea lanzar una misión de exploración a Plutón y su luna Caronte, y luego, si fuera posible, programar un encuentro exterior con alguno de los residentes del Cinturón de cometas Kuiper.

Los núcleos rocosos de Urano y Neptuno, similares al de la Tierra, parecen haberse apretado primero y haber atraído luego gravitatoriamente cantidades masivas de los gases hidrógeno y helio de la antigua nebulosa a partir de la cual se formaron los planetas. Originalmente, vivían en una tormenta de granizo. Sus gravedades eran apenas suficientes para eyectar lejos del dominio de los planetas, cuando se acercaban demasiado, trozos de mundo helados que pasaban a poblar la Nube de cometas de Oort. Júpiter y Saturno se convirtieron en gigantes gaseosos por ese mismo proceso. Pero sus gravedades eran demasiado fuertes para formar parte de la Nube de Oort: los mundos helados que se acercaban a ellos salían gravitatoriamente despedidos hacia el exterior del sistema solar, condenados a vagar para siempre en el inmenso océano de la oscuridad interestelar.

Por tanto, los hermosos cometas que ocasionalmente nos causaban a los humanos admiración y temor, que producían cráteres en las superficies de los planetas interiores y de las lunas exteriores, y que hoy ponen en peligro la vida en la Tierra, resultarían desconocidos e inofensivos para nosotros si Urano y Neptuno no se hubieran desarrollado hasta convertirse en mundos gigantes, 4 500 millones de años atrás.

Ha llegado el momento de dedicar un breve interludio a los planetas situados *mucho* más allá de Neptuno y Plutón, los planetas de otras estrellas.

Muchas estrellas próximas se hallan rodeadas por delgados discos de gas y polvo orbitante, que se extienden a menudo hasta cientos de unidades astronómicas (UA)* desde la estrella local (los planetas más exteriores, Neptuno y Plutón, se encuentra a unas 40 UA del Sol). Estrellas más jóvenes similares al Sol tienen más probabilidades de poseer discos que las viejas. En algunos casos existe un agujero en el centro del disco al igual que en un disco de vinilo. El agujero se extiende a unas 30 o 40 UA de la estrella. Eso se cumple, por ejemplo, en el disco que rodea las estrellas Vega y Epsilon Eridani. El agujero en el disco que rodea Beta Pictoris solamente se proyecta 15 UA desde la estrella. Existe una posibilidad real de que esas zonas interiores libres de polvo hayan sido desalojadas por planetas que se han formado allí recientemente. De hecho, dicho proceso de barrido es el que se ha pronosticado para la historia primitiva de nuestro sistema planetario. A medida que van progresando las observaciones, quizá puedan detectarse detalles reveladores en la configuración de las regiones de polvo y de las zonas carentes de él que indiquen la presencia de planetas demasiado pequeños y oscuros para ser vistos directamente. Los datos espectroscópicos sugieren que dichos discos giran y que la materia se precipita hacia las estrellas centrales, tal vez procedente de cometas formados en el disco, desviados por los planetas que no percibimos, y se evapora al aproximarse demasiado al sol local.

* Una unidad astronómica equivale a 150000000 de kilómetros. *(Nota de la traductora)*

Dado que los planetas son pequeños y brillan con luz reflejada, tienden a desvanecerse en el resplandor del sol local. Sin embargo, actualmente se están efectuando importantes esfuerzos para descubrir planetas formados enteramente alrededor de las estrellas cercanas. Dichos trabajos consisten en detectar cualquier disminución, por breve y débil que sea, de la luz de la estrella, al interponerse entre ella y el observador en la Tierra un planeta oscuro, o bien tratan de registrar leves fluctuaciones en el movimiento de la estrella al ser tirada, primero de un lado y luego del otro, por un compañero de órbita de otro modo invisible. De todas maneras, las técnicas de transporte espacial serán mucho más sensibles a dichos fenómenos. Un planeta joviano moviéndose alrededor de una estrella cercana es aproximadamente mil millones de veces más pálido que su sol; no obstante, una nueva generación de telescopios basados en la Tierra, capaces de compensar el centelleo en la atmósfera terrestre, podrán detectar planetas así en un futuro próximo, con tan sólo unas pocas horas de observación. Un planeta terrestre de una estrella vecina es incluso cien veces más pálido, pero ahora parece que naves espaciales, de bajo coste comparativamente hablando, podrían detectar otras Tierras por encima de la atmósfera de nuestro planeta. Ninguna de estas investigaciones ha tenido éxito hasta el momento, pero está claro que estamos a punto de ser capaces de detectar planetas, al menos del tamaño de Júpiter, alrededor de las estrellas más cercanas, si es que existen realmente.

Un descubrimiento reciente de extraordinaria importancia, y muy afortunado por lo casual, es el hallazgo de un sistema planetario auténtico alrededor de una estrella remota, a unos 1300 años luz de distancia, realizado mediante una técnica de lo más inesperada: el pulsar designado como B 1257 + 12 es una estrella de neutrones en rotación rápida, un sol increíblemente denso, un residuo de una estrella masiva que sufrió una explosión de supernova. Esta estrella gira, a un ritmo medido con impresionante precisión, una vez cada 0,0062185319388187 segundos. Dicho pulsar se mueve a diez mil revoluciones por minuto.

Las partículas cargadas cautivas en su intenso campo magnético generan ondas de radio que alcanzan la Tierra, de alrededor de 160 parpadeos por segundo. Cambios pequeños pero discernibles en la proporción de los destellos fueron interpretados experimentalmente, en 1991, por Alexander Wolszczan, actualmente en la Universidad Estatal de Pennsylvania, como un minúsculo movimiento reflejo del pulsar en respuesta a la presencia de planetas. En 1994, las anteriormente predichas interacciones gravitatorias mutuas de esos planetas fueron confirmadas por Wolszczan a partir de un estudio de medición del ritmo a nivel de microsegundos en el transcurso de años. La evidencia de que se trata realmente de nuevos planetas y no de temblores sobre la superficie de neutrones de la estrella (o algo así) es hoy aplastante o, tal como lo formula Wolszczan, «irrefutable»; un nuevo sistema solar ha sido «identificado sin ambigüedades». A diferencia de todas las técnicas restantes, el método de medición del ritmo de los pulsares hace que la detección de los planetas terrestres cercanos sea comparativamente más fácil, mientras que la de los planetas jovianos más distantes resulta más dificultosa.

El planeta C, unas 2,8 veces más masivo que la Tierra, completa una órbita alrededor del pulsar cada 98 días, a una distancia de 0,47 unidades astronómicas (UA) (La Tierra, por definición, se encuentra a una UA de su estrella, el Sol.); el planeta B, con una masa de cerca de 3,4 veces la de la Tierra, tiene un año de 67 días terrestres y está a 0,36 UA. Un mundo más pequeño, el planeta A, todavía más cercano a la estrella, con cerca de 0,015 masas de la Tierra, se encuentra a 0,19 UA. A grandes rasgos, el planeta B se halla aproximadamente a la distancia que separa a Mercurio de nuestro Sol; el planeta C se encuentra a medio camino entre las distancias de Mercurio y Venus; y en una posición interior a los dos se sitúa el planeta A, que tiene una masa cercana a la de la Luna y se halla aproximadamente a la mitad de la distancia entre Mercurio y nuestro Sol. Si estos planetas son residuos de un sistema planetario primitivo que, de alguna manera, sobrevivió a la explosión de supernova que produjo el pulsar, o si se formaron a partir del disco de acreción circunestelar resultante de la explosión de supernova, es algo que desconocemos. Pero, en cualquier caso, hemos aprendido que existen otras Tierras.

La energía que genera el B 1257 + 12 es de cerca de 4,7 veces la del Sol. Pero, a diferencia del Sol, mucha de esa energía no se canaliza en luz visible, sino en un potente huracán de partículas cargadas eléctricamente. Supongamos que dichas partículas chocan contra los planetas y los calientan. En ese caso, incluso un planeta a 1 UA soportaría en su superficie una temperatura de alrededor de 280 centigrados por encima del punto normal de ebullición del agua, una temperatura, en definitiva, más elevada que la de Venus.

Por lo tanto, estos planetas oscuros y tórridos no parecen habitables. No obstante puede haber otros, más allá del B 1257 + 12, que sí lo sean. (Existen algunas pistas que apuntan a por lo menos un mundo joviano exterior y más frío en el sistema del B 1257 +12.) Naturalmente, ni siquiera sabemos si esos mundos conservan sus atmósferas; tal vez toda atmósfera fue desmantelada en la explosión de supernova, si se remontan tan atrás. Pero sí parece que estamos detectando un sistema planetario reconocible. Probablemente, muchos más serán descubiertos en las próximas décadas, tanto alrededor de estrellas ordinarias del tipo del Sol como alrededor de enanas blancas, pulsares y otros estadios finales de la evolución estelar.

Con el tiempo dispondremos de una lista de sistemas planetarios, tal vez cada uno de ellos con planetas terrestres y jovianos, y quizá también nuevas clases de planetas. Examinaremos dichos mundos espectroscópicamente y con otros medios. Seguiremos buscando nuevas Tierras, así como la posible existencia de vida.

En ninguno de los mundos del sistema solar exterior pudo el *Voyager* encontrar indicios de vida, y mucho menos de inteligencia. Sí había materia orgánica en abundancia —la materia de la vida, la premonición de vida, quizá— pero, por lo que pudo verse, ni un solo ser viviente. No había oxígeno en sus atmósferas, ni tampoco gases completamente fuera del equilibrio químico, como es el caso del metano en el oxígeno de la Tierra. Muchos de los mundos aparecían teñidos de sutiles colores, pero ninguno presentaba rasgos de absorción tan agudos y

distintivos como el que provee la clorofila sobre la mayor parte de la faz de la Tierra. En muy pocos mundos fue capaz el *Voyager* de captar detalles con una resolución tan grande como supone un kilómetro de distancia. A ese nivel, ni siquiera habría detectado nuestra propia civilización tecnológica de haber sido ésta trasplantada al sistema solar exterior. Pero por lo que merece la pena, no encontramos formas regulares, ni geometrización, ni pasión por los círculos pequeños, los triángulos, los cuadrados o los rectángulos. No había constelaciones de puntos fijos de luz en los hemisferios nocturnos. No se hallaron indicios de civilización técnica alguna remodelando la superficie de ninguno de esos mundos.

Los planetas jovianos son prolíficos transmisores de ondas de radio, generadas en parte por las abundantes partículas cargadas cautivas y dirigidas en sus campos magnéticos, en parte por relámpagos y en parte por sus calientes interiores. No obstante, ninguna de esas emisiones reviste las características producidas por la vida inteligente o, al menos, ésa es la opinión de los expertos en la materia.

Claro está que nuestros razonamientos pueden ser obtusos. Puede que se nos esté escapando algo. Por ejemplo, hay un poco de anhídrido carbónico en la atmósfera de Titán que coloca su atmósfera de nitrógeno y metano fuera del equilibrio químico. Pienso que el CO_2 es debido a la lluvia constante de cometas que se precipitan sobre la atmósfera de Titán, aunque puede que no sea así. También cabe la posibilidad de que haya algo en su superficie que, inexplicablemente, genere CO_2 a pesar de todo ese metano.

Las superficies de Miranda y Tritón son distintas de cualquier otra cosa que conozcamos. Presentan vastos territorios en forma de galón y líneas rectas entrecruzadas, que sobrios geólogos planetarios llegaron a describir alguna vez maliciosamente como «autopistas». Creemos que comprendemos (apenas) esas formas del terreno en términos de imperfecciones y colisiones, pero naturalmente podemos estar equivocados.

Las manchas de materia orgánica de la superficie —que en ocasiones, como en Tritón, adoptan delicados matices— se atribuyen a las partículas cargadas eléctricamente, que producen reacciones químicas en los hielos de hidrocarburos simples, generando materiales orgánicos más complejos, aunque nada de eso tiene que ver con la intermediación de la vida. No obstante, también podemos estar equivocados.

Las complejas formas de parásitos, estallidos y silbidos de radio que recibimos de los cuatro planetas jovianos parecen explicables, de un modo general, por la física de plasma y la emisión térmica. (Todavía hoy hay muchos aspectos concretos que no se comprenden del todo.) Pero, naturalmente, es posible que estemos equivocados.

No hemos encontrado nada en docenas de mundos, y podemos afirmarlo con tanta claridad y contundencia como se manifestaron los signos de vida que detectó la nave *Galileo* en sus vuelos junto a la Tierra. La vida es una hipótesis de último recurso. Acudimos a ella cuando no existe otro modo de explicar lo que estamos percibiendo. Si tuviera que aventurar un juicio, diría que no hay vida en ningún

otro mundo de los que hemos estudiado, exceptuando, claro está, el nuestro. Pero podría estar equivocado, y, verdadera o falsa, mi opinión se halla necesariamente restringida a este sistema solar. Tal vez en alguna nueva misión hallemos algo distinto, algo sorprendente, algo del todo inexplicable con las herramientas comunes de la ciencia planetaria. En ese caso, trémula y cautelosamente, nos volveremos hacia una explicación biológica. Sin embargo, por el momento, nada nos mueve a recurrir a ese camino. Hasta el día de hoy, la única vida en el sistema solar es la que procede de la Tierra. En los sistemas de Urano y Neptuno el único indicio de vida fue la propia nave *Voyager.*

Cuando identifiquemos los planetas de otras estrellas, en el momento en que descubramos otros mundos, aproximadamente del tamaño y la masa de la Tierra, los escudriñaremos a fondo en busca de indicios de vida. Puede que en algún mundo que nunca hayamos fotografiado se detecte una densa atmósfera de oxígeno. Al igual que en la Tierra, ello puede constituir en sí una señal de la presencia de vida. Una atmósfera de oxígeno con cantidades apreciables de metano sería un síntoma de vida casi seguro, lo mismo que la captación de emisiones de radio moduladas. Algún día, gracias a observaciones de nuestro sistema planetario o de otro, la noticia del hallazgo de vida en otro lugar nos sorprenderá a la hora del desayuno.

Las naves espaciales «VOYAGER» viajan con destino a las estrellas. Se hallan en trayectorias de escape del sistema solar, surcando el espacio a razón de casi un millón seiscientos mil kilómetros diarios. Los campos gravitatorios de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno las han impulsado a velocidades tan altas que han roto los vínculos que en otro tiempo los unían con el Sol.

¿Han abandonado ya el sistema solar? La respuesta depende mucho de cómo definamos la frontera de los dominios del Sol. Si ésta se sitúa en la órbita del planeta de tamaño regular más exterior, entonces los *Voyager* ya la han atravesado hace tiempo; probablemente no existan Neptunos todavía por descubrir. Si nos referimos al planeta más exterior, puede que haya otros planetas —similares quizá a Tritón— mucho más allá de Neptuno y Plutón; de ser así, el *Voyager 1* y el *Voyager 2* se encuentran todavía dentro de los confines del sistema solar. En caso de que definamos los límites exteriores del sistema solar como la heliopausa —donde las partículas y campos magnéticos interplanetarios son reemplazados por sus contrapartidas interestelares—, entonces ninguno de los *Voyager* ha abandonado todavía el sistema solar, si bien puede que lo hagan en el plazo de unas pocas décadas.* Pero si su definición del borde del sistema solar corresponde

---

* Se cree que las señales de radio que ambas naves *Voyager* detectaron en 1992 son debidas a una colisión de fuertes rachas de viento solar con el gas ligero que se halla entre las estrellas. A partir de la inmensa potencia de la señal (más de 10 billones de vatios) se puede efectuar una estimación de la distancia hasta la heliopausa: aproximadamente cien veces la distancia desde el Sol a la Tierra. A la velocidad a que se aleja del sistema solar, el *Voyager 1* podría penetrar en la heliopausa e introducirse en el espacio interestelar alrededor del año 2010. Si su fuente de energía radiactiva todavía lo permite, transmitirá a la Tierra las noticias de esa travesía. La energía liberada por la colisión de esta onda de choque con la heliopausa la convierte en la fuente más potente de emisión de radio en el sistema solar. Uno se pregunta si choques todavía más fuertes en otros sistemas planetarios serían detectables por nuestros radiotelescopios.

a la distancia en la cual nuestra estrella no puede ya mantener mundos en órbita a su alrededor, en ese caso los *Voyager* no dejarán el sistema solar durante cientos de siglos.

Débilmente afectada por la gravedad del Sol, que se propaga en el cielo en todas direcciones, se encuentra esa inmensa horda de un billón de cometas o más, la Nube de Oort. Las dos naves espaciales concluirán su paso a través de la Nube de Oort aproximadamente dentro de veinte mil años. Luego, por fin, completando su largo adiós al sistema solar, liberándose del yugo gravitatorio que los había mantenido encadenados al Sol, los *Voyager* llegarán al mar abierto del espacio interestelar. Solamente entonces dará comienzo la Fase Dos de su misión.

Con sus transmisores de radio fallecidos mucho tiempo atrás, las naves deambularán durante incontables años por la tranquila y fría negrura del espacio interestelar, donde no hay prácticamente nada que pueda erosionarlas. Una vez abandonado el sistema solar, permanecerán intactas durante mil millones de años o más, circunnavegando el centro de la galaxia Vía Láctea.

No sabemos si existen en la Vía Láctea otras civilizaciones que naveguen por el espacio. Si las hay, no sabemos cuántas son, ni mucho menos dónde se encuentran. Pero existe al menos una posibilidad de que, en algún momento del futuro remoto, uno de los *Voyager* sea interceptado y examinado por alguna nave extraterrestre.

En consecuencia, cuando los *Voyager* partieron de la Tierra con rumbo a los planetas y las estrellas, se llevaron consigo un disco fonográfico recubierto de oro, protegido por una reluciente funda de oro, que contenía entre otras cosas; saludos en 59 idiomas humanos y en un lenguaje de ballenas; un ensayo evolutivo en audio, de doce minutos de duración, sobre «los sonidos de la Tierra», que incluye un beso, el llanto de un bebé y el registro de un electroencefalograma con las reflexiones de una joven enamorada; 116 imágenes codificadas sobre nuestra ciencia, nuestra civilización y nosotros mismos; y también noventa minutos de la mejor música del mundo —de Oriente y Occidente, clásica y folk, incluyendo un canto nocturno de los navajos, un *shakuhachi* japonés, una canción de iniciación de una niña pigmeo, una canción de boda peruana, una composición china de tres mil años de antigüedad para quin titulada *Corrientes que fluyen*, Bach, Beethoven, Mozart, Stravinsky, Louis Armstrong, Blind Willie Johnson y el *Johnny B. Goode* de Chuck Berry.

El espacio está casi vacío. No existe virtualmente ninguna posibilidad de que uno de los *Voyager* penetre alguna vez en otro sistema solar, y ello es cierto incluso en el caso de que cada estrella del firmamento vaya acompañada de planetas. Las instrucciones en las fundas de los discos, escritas en lo que consideramos jeroglíficos científicos fácilmente comprensibles, podrán ser leídas y entendidos los contenidos del disco, solamente si seres extraterrestres en algún momento del futuro remoto encuentran un *Voyager* en las profundidades del espacio interestelar. Y dado que los *Voyager* estarán dando vueltas por el centro de la galaxia Vía Láctea para siempre, queda muchísimo tiempo para que los discos puedan ser hallados, si es que hay alguien ahí afuera para efectuar el descubrimiento.

No podemos saber hasta qué punto comprenderían los discos. A buen seguro los saludos les resultarán indescifrables, aunque puede que no la intención que entrañan. (Pensamos que habría sido de mala educación no decir hola.) Es probable que los hipotéticos extraterrestres sean muy diferentes a nosotros, al haber evolucionado de forma independiente en otro mundo. ¿Seguro que podrán entender algo de nuestro mensaje? Pero cada vez que me asalta esa preocupación me tranquilizo; sea cual sea el grado de incomprensividad del disco de los *Voyager*, cualquier nave extraterrestre que lo encuentre dispondrá de otros elementos para juzgarnos. Cada *Voyager* constituye un mensaje en sí mismo. Con su finalidad de exploración, la elevada ambición de sus objetivos, su total ausencia de intención de causar daño y la brillantez de su diseño y funcionamiento, esos robots hablan elocuentemente en nuestro favor.

Siendo científicos e ingenieros mucho más avanzados que nosotros —pues de otro modo nunca habrían sido capaces de hallar y recoger las diminutas y silenciosas naves en el espacio interestelar—, quizá los extraterrestres no tendrían dificultad en descifrar lo que llevan codificado esos discos de oro. Puede que reconocieran el carácter experimental de nuestra sociedad, el desajuste entre nuestra tecnología y nuestra sabiduría. Y se preguntarían, tal vez, si nos hemos destruido ya a nosotros mismos desde que lanzamos los *Voyager* o si, por el contrario, hemos avanzado hacia una mayor sofisticación.

Cabe también la posibilidad de que los Voyager nunca lleguen a ser interceptados. Quizá en cinco mil millones de años nadie se los encuentre. Cinco mil millones de años es mucho tiempo. En ese plazo todos los humanos se habrán extinguido o habrán evolucionado hacia seres diferentes, ninguno de nuestros artefactos habrá sobrevivido sobre la Tierra, los continentes se habrán alterado hasta quedar irreconocibles o habrán quedado destruidos, y la evolución del Sol habrá reducido nuestro planeta a cenizas o lo habrá transformado en un remolino de átomos.

Lejos de casa, inalterados por tan remotos acontecimientos, los *Voyager*, portadores de la memoria de un mundo ya extinguido, continuarán navegando por el espacio.

CAPÍTULO 10

NEGRO SAGRADO

El cielo profundo es, de entre todas las impresiones visuales, la que más se asemeja a un sentimiento.
SAMUEL TAYLOR COLERIDGE, *Notebooks* (1805)

El intenso azul de una despejada mañana del mes de mayo o los tonos rojos y anaranjados de una puesta de sol sobre el mar han maravillado desde siempre a los seres humanos y los han empujado a la poesía y a la ciencia. No importa en qué punto de la Tierra vivamos, cuál sea nuestro idioma, costumbres o régimen político. Compartimos un mismo cielo. La mayoría de nosotros *esperamos* ese azul celeste y quedaríamos boquiabiertos —con razón— si una mañana nos levantásemos de la cama y descubriéramos un cielo sin nubes, de color negro, amarillo o verde. (Los habitantes de Los Angeles y de Ciudad de México se han habituado a cielos marrones, en tanto que los de Londres o Seattle los tienen grises, por lo general, pero aun así consideran el azul celeste como la norma planetaria.) No obstante, en realidad sí existen mundos con cielos negros o amarillos, y quizá incluso verdes. El color del cielo caracteriza el mundo. Si me dejaran caer en cualquiera de los planetas del sistema solar, sin que pudiera sentir la gravedad ni examinar el suelo, echando una rápida mirada al Sol y al cielo, creo que sería perfectamente capaz de deducir dónde me encuentro. Ese familiar matiz de azul, interrumpido aquí y allá por esponjosas nubes blancas, constituye la rúbrica de nuestro mundo. Los franceses han acuñado la expresión *sacre-bleu!,* que se traduce más o menos por «¡Cielo santo!».*

Literalmente significa «¡azul sagrado!». Y verdaderamente, si tuviéramos que escoger una bandera genuina para representar a la Tierra, ése debería ser su color.

Los pájaros vuelan por él, las nubes se hallan suspendidas en él, los seres humanos lo admiramos y lo atravesamos rutinariamente, la luz del Sol se extiende por él. Pero ¿qué es el cielo? ¿De qué está hecho? ¿Dónde termina? ¿De qué cantidad de cielo disponemos? ¿De dónde procede todo ese azul? Si es un lugar común para todos los humanos, si caracteriza nuestro mundo, seguro que sabemos algo de él. ¿Qué es el cielo?

En agosto de 1957, por primera vez, un ser humano ascendió más arriba del azul y miró a su alrededor. Eso fue cuando David Simmons, un físico y oficial retirado de las Fuerzas Armadas, se convirtió en el ser humano que voló más alto de la historia. Completamente solo, pilotó un globo en el que se elevó a una altitud de

* Esta exclamación era originalmente un eufemismo para los que consideraban que *Sacre-Dieu!* era una blasfemia demasiado fuerte, considerando debidamente el segundo mandamiento, para ser pronunciada en voz alta.

más de treinta kilómetros y, a través de sus gruesas ventanas, contempló un cielo distinto. Actualmente profesor en la Escuela de Medicina de la Universidad de California en Irvine, el doctor Simmons recuerda que el cielo sobre su cabeza era oscuro y de un intenso color púrpura. Había alcanzado la región de transición donde el azul del nivel terrestre se ve alcanzado por el negro perfecto del espacio.

Desde el ya casi olvidado vuelo de Simmons, personas de muchas naciones han volado por encima de la atmósfera. Hoy ha quedado claro, gracias a la repetida y directa experiencia humana (y robótica), que en el espacio el cielo diurno es negro. El Sol proyecta sus rayos sobre la nave. Abajo, la Tierra aparece brillantemente iluminada. Pero arriba, el cielo es negro como la noche.

He aquí la memorable descripción de Yuri Gagarin en relación con lo que vio en el primer vuelo espacial de la especie humana, a bordo del *Vostok 1,* el 12 de abril de 1961:

> El cielo es completamente negro, y contra el fondo de este cielo negro las estrellas aparecen en cierto modo más brillantes y diferenciadas. La Tierra presenta un halo azul muy hermoso y característico, que se ve muy bien al observar el horizonte. Hay una suave transición de color que va del azul celeste, al azul, azul marino y púrpura, para acabar en el tono completamente negro del cielo. Es una transición realmente bella.

Sin duda alguna, el cielo diurno —todo ese azul— está conectado de algún modo con el aire. Pero cuando uno mira al otro lado de la mesa, el comensal de enfrente no es azul (por lo general); el color del cielo no debe ser una propiedad de una cantidad reducida de aire, sino de una gran cantidad. Si uno contempla detenidamente la Tierra desde el espacio, la verá rodeada de una estrecha banda de azul, del espesor de las capas bajas de la atmósfera; de hecho, lo que estará viendo *son* las capas bajas de la atmósfera. Por encima de esa banda descubrirá el azul del cielo diluyéndose en la negrura del espacio. Esa es la zona de transición que Simmons fue el primero en penetrar y Gagarin el primero en contemplar desde arriba. En vuelos espaciales rutinarios se parte de la base azul, se atraviesa por completo esa franja, pocos minutos después del despegue, y a continuación se penetra en esos dominios sin fronteras donde resulta imposible tomar una sola bocanada de aire sin la ayuda de sofisticados sistemas de respiración asistida. La vida humana depende absolutamente de ese cielo azul. Tenemos mucha razón al apreciarlo y considerarlo sagrado.

Durante el día percibimos el azul porque la luz del Sol rebota en el aire que nos rodea y que está encima de nosotros. En una noche despejada, el cielo es negro al no haber una fuente de luz lo suficientemente intensa para ser reflejada por el aire. En cierto modo, el aire refleja hacia nosotros preferentemente la luz azul. ¿Cómo lo hace?

La luz visible del Sol se compone de muchos colores —violeta, azul, verde, amarillo, naranja, rojo—, que corresponden a la luz de distintas longitudes de onda. (La longitud de onda es la distancia de cresta a cresta a medida que la onda

viaja a través del aire o del espacio.) Las ondas de luz violeta y azul tienen las longitudes de onda más cortas; el naranja y el rojo las más largas. Lo que percibimos como color es el modo que tienen nuestros ojos y cerebros de leer las longitudes de onda de la luz. (Podríamos, por ejemplo, traducir las longitudes de onda de la luz en tonos captados por el oído, en lugar de en colores registrados por la vista, pero nuestros sentidos no han evolucionado por esa vía.)

Cuando todos esos colores del arco iris se mezclan, como en la luz solar, resulta un tono prácticamente blanco. Esas ondas viajan juntas por espacio de ocho minutos a través de los 150 millones de kilómetros que se interponen entre el Sol y la Tierra, y chocan contra la atmósfera, compuesta en su mayor parte de moléculas de nitrógeno y oxígeno. Algunas ondas son rebotadas por el aire de regreso al espacio. Otras son rebotadas antes de que la luz alcance el suelo y pueden ser detectadas por el ojo al pasar. (Asimismo, hay ondas que son rebotadas por nubes o por el suelo de vuelta al espacio.) Ese rebote en todas direcciones de las ondas de luz en la atmósfera recibe el nombre de «dispersión».

Pero no todas las ondas son dispersadas en igual medida por las moléculas de aire. Las longitudes de onda mucho más largas que el tamaño de las moléculas se dispersan menos; superan a las moléculas sin apenas recibir ninguna influencia por su presencia. Las longitudes de onda más cercanas al tamaño de las moléculas sufren una mayor dispersión. En general, las ondas difícilmente pueden ignorar la presencia de obstáculos, sea cual sea su tamaño. (Ello se pone claramente de manifiesto en el agua, cuando las ondas se topan con el pilote que sostiene un puente, por ejemplo, o en una bañera con el grifo abierto, cuando el agua choca con el obstáculo de un patito de goma.) Las longitudes de onda más cortas, las que apreciamos como luz violeta y azul, se dispersan con mayor eficacia que las más largas, las que percibimos como luz naranja y roja. Cuando miramos al cielo en un día despejado y admiramos su color azul, estamos presenciando la dispersión preferente de las ondas cortas de la luz solar. El fenómeno recibe el nombre de dispersión Rayleigh, en honor al físico británico que ofreció la primera explicación coherente para el mismo. El humo de un cigarrillo es azul por la misma razón: las partículas que lo componen son aproximadamente de la misma medida que la longitud de onda de la luz azul. Entonces ¿por qué es roja la puesta de sol? El rojo del crepúsculo es lo que queda de la luz solar una vez el aire ha dispersado ya el azul. Dado que la atmósfera es una delgada envoltura de gas, sujeta a la gravedad que rodea a la Tierra sólida, la luz solar debe efectuar una trayectoria más larga y oblicua a través del aire durante el crepúsculo (o el amanecer) que al mediodía. Como las ondas violetas y azules se dispersan aún más durante su ahora más largo trayecto a través del aire que cuando el Sol está en su punto más alto, lo que vemos cuando miramos hacia el Sol es el residuo, las ondas de luz que apenas se dispersan, especialmente los rojos y anaranjados. Un cielo azul implica una puesta de sol roja. (El Sol del mediodía parece más amarillo, en parte porque emite más luz amarilla que de otros colores y, en parte, porque incluso cuando está más alto, algo de luz azul de los rayos solares es dispersada por la atmósfera de la Tierra.)

En ocasiones se dice que los científicos no son románticos en absoluto, que su pasión por los descubrimientos despoja al mundo de una parte de su belleza y misterio. Pero ¿acaso no es estimulante comprender cómo funciona el mundo realmente, saber que la luz se compone de colores, que el aire transparente refleja la luz, que haciendo eso discrimina entre las ondas y que el cielo es azul por la misma razón que el crepúsculo es rojo? No le hace ningún daño al romanticismo de una puesta de sol saber algunas cosas sobre la misma. Dado que muchas moléculas simples son aproximadamente del mismo tamaño (más o menos de una cienmillonésima de centímetro), el color azul del cielo terrestre no depende demasiado de la composición del aire, mientras éste no *absorba* la luz. Las moléculas de oxígeno y de nitrógeno no absorben la luz visible, solamente la rebotan en otra dirección. Sin embargo, otras moléculas devoran la luz. Los óxidos de nitrógeno —producto de los motores de automoción y de los fuegos industriales— constituyen una fuente de la sombría coloración marrón del *smog.* Los óxidos de nitrógeno (compuestos de oxígeno y nitrógeno) *sí* absorben la luz. La absorción, al igual que la dispersión, puede colorear el cielo.

Otros mundos, otros cielos: Mercurio, la Luna de la Tierra y la mayor parte de satélites de los demás planetas son mundos pequeños; a causa de la debilidad de sus gravedades son incapaces de retener sus atmósferas, que escapan al espacio. Entonces el vacío del espacio alcanza el suelo de esos mundos. La luz solar choca sin impedimentos con sus superficies, sin sufrir ni dispersión ni absorción en su camino. Los cielos de dichos mundos son negros, incluso al mediodía, circunstancia que hasta el momento ha sido presenciada solamente por doce seres humanos, las tripulaciones de alunizaje de las naves *Apolo 11* y *12,* y del *14* al *17.*

La siguiente tabla ofrece una completa lista de satélites del sistema solar. (Casi la mitad de ellos fueron descubiertos por las naves *Voyager.)* Todos tienen cielos negros, exceptuando Titán, la luna de Saturno, y quizá Tritón, el satélite de Neptuno, que son lo suficientemente grandes como para tener atmósfera. Y también todos los asteroides.

SESENTA Y DOS MUNDOS PARA EL TERCER MILENIO, LUNAS CONOCIDAS DE LOS PLANETAS (Y UN ASTEROIDE), ENUMERADAS POR ORDEN SEGÚN LA DISTANCIA QUE LAS SEPARA DE SUS RESPECTIVOS PLANETAS.

TIERRA, 1	MARTE, 2	IDA, 1	JÚPITER, 16	SATURNO, 18	URANO, 15	NEPTUNO, 8	PLUTÓN, 1
Luna	Fobos Deimos	(sin nombre)	Metis Adrastea Amaltea Tebas Ío Europa Ganímedes Calisto Leda Himalia Lisitea Elara Ananke Carme Pasifae	Pan Atlas Prometeo Pandora Epimeteo Jano Mimas Encélado Tetis Telesto Calipso Dione Elena Rea Titán	Cordelia Ofelia Bianca Crésida Desdémona Juliet Porcia Rosalind Belinda Puck Miranda Ariel Umbriel Titania Oberón	Náyade Thalasa Despina Galatea Larisa Proteo Tritón Nereida	Caronte

			Sínope	Hiperión Jápeto Febe			

Venus tiene cerca de noventa veces más aire que la Tierra. Pero no está compuesto principalmente de oxígeno y nitrógeno, como el de nuestro planeta, sino que es anhídrido carbónico. No obstante, el anhídrido carbónico tampoco absorbe la luz visible. ¿Cuál sería la apariencia del cielo desde la superficie de Venus si éste no tuviera nubes? Con tanta atmósfera en medio no solamente se dispersan las ondas violetas y azules, sino también todos los colores restantes, el verde, el amarillo, el naranja y el rojo. Sin embargo, el aire es tan grueso que apenas nada de luz azul consigue llegar al suelo; es dispersada de vuelta al espacio por rebotes sucesivos cada vez más arriba. Así pues, la luz que alcanza el suelo debería estar fuertemente dominada por el rojo, como una puesta de sol de la Tierra en todo el cielo. Por otra parte, la presencia de azufre en las nubes altas debería teñir el cielo de amarillo. Las imágenes tomadas por los vehículos soviéticos de aterrizaje *Venera* confirman que los cielos de Venus presentan tonalidades que oscilan entre los amarillos y los anaranjados.

El caso de Marte es distinto. Es un mundo más pequeño que la Tierra con una atmósfera mucho más delgada. La presión en la superficie de Marte, de hecho, equivale aproximadamente a la de la altitud en la estratosfera de la Tierra a la cual ascendió Simmons. En consecuencia, cabría esperar que el cielo de Marte fuera negro o púrpura oscuro. La primera imagen en color de la superficie de dicho planeta fue obtenida en julio de 1976 por el vehículo de aterrizaje americano *Viking 1,* la primera nave que aterrizó con éxito sobre la superficie del planeta rojo. Los datos digitales fueron debidamente radiados desde Marte a la Tierra, así como la imagen en color compuesta por computadora. Para sorpresa de todos los científicos, pero de nadie más, esa primera imagen, difundida por la prensa, mostraba el cielo marciano de un confortable y familiar color azul, imposible para un planeta con una atmósfera tan insustancial. Algo había salido mal.

La imagen en una pantalla de televisión en color es una mezcla de tres imágenes monocromas, cada una de un tono distinto de luz, roja, verde y azul. Este mismo método de composición de color se emplea en los sistemas de proyección de imágenes de vídeo, que proyectan haces de luz roja, verde y azul para generar una imagen a todo color (incluyendo los tonos amarillos). Para obtener la composición de color adecuada, el aparato debe mezclar o equilibrar correctamente estas tres imágenes monocromas. Si se sube la intensidad del azul, por ejemplo, la imagen resultante será demasiado azul. Las imágenes que nos llegan del espacio requieren un equilibrio de colores similar. En ocasiones, los analistas informáticos disponen de una libertad considerable para efectuar dicha mezcla. Los analistas del *Viking* no eran astrónomos planetarios y, en lo que se refiere a esta primera imagen de Marte, se limitaron a mezclar los colores hasta que la composición les pareció «correcta». Estamos tan condicionados por nuestra experiencia sobre la Tierra que «correcto», naturalmente, implica un cielo azul. El color de la imagen fue

inmediatamente corregido —empleando pautas de calibración de colores que la nave llevaba incorporadas para este propósito—y la composición resultante no daba en modo alguno un cielo azul; la tonalidad oscilaba más bien entre el ocre y el rosa. Cierto que no era azul, pero tampoco era negro púrpura.

Ese *es* el verdadero color del cielo marciano. Gran parte de la superficie de Marte es desértica, y roja porque la arena es rojiza. De vez en cuando se producen violentas tormentas de arena que arrastran finas partículas de la superficie hacía las capas altas de la atmósfera. Estas tardan bastante tiempo en desaparecer y, antes de que el cielo se haya limpiado por completo, siempre se produce otra tempestad. Las tormentas de arena globales o casi globales tienen lugar prácticamente cada año marciano. Dado que las partículas rojizas se hallan en permanente suspensión en ese cielo, las futuras generaciones de seres humanos, que habrán nacido en Marte y pasarán toda su vida allí, considerarán este color salmón del cielo tan natural y familiar como nosotros nuestro azul celeste. Con una sola mirada al cielo diurno serán probablemente capaces de deducir cuánto tiempo ha pasado desde la última gran tormenta de arena.

Los planetas del sistema solar exterior —Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno— son de distinta clase. Se trata de mundos enormes con atmósferas gigantes, compuestas principalmente de hidrógeno y helio. Sus superficies sólidas se hallan a tal profundidad que no penetra hasta ellas ni un atisbo de luz solar. Allí abajo el cielo es negro, sin perspectivas de recibir nunca un solo rayo de sol. Esa perpetua noche sin estrellas puede iluminarse quizá, ocasionalmente, por algún relámpago. En cambio, en las capas altas de la atmósfera, donde alcanza la luz del Sol, aguarda una panorámica mucho más hermosa.

En Júpiter, por encima de una capa de niebla situada a gran altitud que se compone de partículas de hielo de amoniaco (más que de agua), el cielo es casi negro. Mucho más abajo, en la región de cielo azul, existen nubes multicolores con diferentes matices de amarillo-marrón, cuya composición es hoy por hoy desconocida. (Los posibles materiales que las conforman incluyen el azufre, el fósforo y moléculas orgánicas complejas.) Aún más abajo, el color del cielo se moverá entre el rojo y el marrón, a menos que las nubes en esa franja sean de espesores variados, de tal modo que donde sean delgadas puede aparecer algún pedazo de azul. A mayor profundidad, regresamos gradualmente a la noche perpetua. Algo similar ocurre en Saturno, pero allí los colores son mucho más apagados. Urano y especialmente Neptuno presentan un misterioso y austero color azul, a través del cual las nubes —algunas un poco más blanquecinas— son transportadas por vientos de fuerte intensidad. La luz solar llega a una atmósfera comparativamente limpia, compuesta básicamente de hidrógeno y helio, pero también rica en metano. Largas sendas de metano absorben la luz amarilla y especialmente la roja, dejando pasar los filtros verde y azul, aunque una delgada neblina de hidrocarburos rebaja un poco el azul. Puede que haya un nivel de profundidad donde el cielo sea verdoso.

La sabiduría convencional sostiene que la absorción por el metano y la

dispersión Rayleigh de la luz solar por una atmósfera profunda explican los azules de Urano y Neptuno. No obstante, el análisis de los datos del *Voyager* realizado por Kevin Baines, del JPL, parece demostrar que dichas causas son insuficientes. Al parecer, a una gran profundidad —quizá en las proximidades de unas hipotéticas nubes de sulfuro de hidrógeno— existe una sustancia azul muy abundante. Hasta ahora nadie ha sido capaz de explicar lo que podría ser. Los materiales azules son muy raros en la Naturaleza. Como ocurre siempre en la ciencia, los viejos misterios se disipan tan sólo para dar paso a otros nuevos. Tarde o temprano hallaremos también una explicación para éste.

Todos los mundos con cielos que no son negros tienen atmósferas. Si nos encontramos en la superficie y existe una atmósfera lo suficientemente gruesa para que podamos verla, es probable que haya una forma de atravesarla. En la actualidad mandamos nuestros instrumentos a surcar los cielos de colores de otros mundos. Algún día iremos nosotros mismos.

Ya se ha utilizado el paracaídas en las atmósferas de Venus y Marte, y está previsto emplearlo para Júpiter y Titán. En 1985 dos globos franco-soviéticos navegaron a través de los cielos amarillos de Venus. El globo *Vega 1,* de unos cuatro metros de diámetro, llevaba colgando a trece metros de distancia un equipo de instrumentos. El globo se infló en el hemisferio nocturno, estuvo flotando a 54 kilómetros de la superficie y transmitió datos durante casi dos días terrestres antes de que le fallaran las baterías. Durante ese tiempo cubrió 11600 kilómetros sobre la superficie de Venus, mucho más abajo. El globo *Vega 2* tenía un perfil casi idéntico. La atmósfera de Venus se ha empleado también como freno aéreo, modificando la órbita de la nave *Magallanes* por fricción con ese aire tan denso; se trata de una tecnología de futuro clave para convertir las naves de aproximación a Marte en vehículos de orbitaje y aterrizaje.

Una misión a Marte, programada para ser lanzada en 1998 y dirigida por Rusia, incluye un enorme globo de aire caliente de fabricación francesa, con el aspecto de una gran medusa. Está diseñado para posarse sobre la superficie de Marte con el frío de cada crepúsculo y alzar el vuelo al día siguiente, una vez calentado por la luz solar. Los vientos son tan fuertes que, si todo va bien, avanzará cientos de kilómetros cada día, saltando incluso por encima del polo norte. A primeras horas de la mañana, cuando se encuentre cerca del suelo, obtendrá imágenes de alta resolución y otros datos, El globo lleva una cuerda de arrastre, esencial para su estabilidad, concebida y diseñada por una organización privada con sede en Pasadena, California, la Sociedad Planetaria.

Dado que la presión sobre la superficie de Marte es aproximadamente la que hay a una altitud de 30480 metros en la Tierra, sabemos que allí podemos volar con aviones. El U-2, por ejemplo, o el SR-71 Blackbird se acercan rutinariamente a presiones tan bajas. Para Marte se han diseñado aviones con alas de incluso mayor envergadura.

El sueño de volar y el de los viajes espaciales son gemelos, concebidos por visionarios similares, dependientes de tecnologías aliadas y que han evolucionado

más o menos a la par. Cuando se alcanzan determinados límites prácticos y económicos en lo que respecta a los vuelos terrestres, surge la posibilidad de volar a través de los multicolores cielos de otros mundos.

Hoy casi es posible asignar combinaciones de color, basadas en los colores de las nubes y el cielo, a cada planeta del sistema solar, desde los cielos azufrados de Venus a los herrumbrosos cielos de Marte, pasando por los cielos aguamarina de Urano y el hipnótico y fantástico azul de Neptuno. *Sacre-jaune, sacre-rouge, sacre-vert.* Tal vez un día adornen las banderas de asentamientos humanos distantes en el sistema solar, en un tiempo en que las nuevas fronteras se están trasladando del Sol a las estrellas, y los exploradores se ven rodeados por el negro infinito del espacio. *Sacre-noir.*

CAPÍTULO 11

LUCERO DE LA TARDE Y DEL ALBA

He aquí otro mundo que no
pertenece a los hombres.
LI BAI, «Pregunta y respuesta en las
montañas» (China, dinastía Tang, aprox. 730)

Lo vemos brillar al oeste durante el crepúsculo, persiguiendo al Sol en su descenso hacia el fondo del horizonte. Muchas personas tienen por costumbre formular un deseo («a una estrella») cada noche cuando lo vislumbran. Algunas veces el deseo se hace realidad.

También podemos espiarlo en el este, cuando huye del Sol poco antes del amanecer. En ambos casos más relumbrante que cualquier otro objeto celeste a excepción del Sol o la Luna, se le conoce como el lucero de la tarde y del alba. Nuestros antepasados no se percataron de que se trataba de un mundo, nunca demasiado alejado del Sol, pues describe una órbita a su alrededor más interior que la de la Tierra. Momentos antes de la puesta de sol o poco después del alba, se presenta a veces la ocasión de contemplarlo junto a una esponjosa nube blanca, y entonces descubrimos al compararlos que Venus presenta un pálido tono amarillo limón.

Por más que miremos por el ocular de un telescopio —aunque sea un gran telescopio, incluso el telescopio óptico de mayor envergadura de toda la Tierra— no nos será posible obtener ningún detalle. Durante meses y meses veremos un disco sin características aparentes que va atravesando fases sistemáticamente, como la Luna: Venus creciente, Venus lleno, Venus casi lleno, Venus nuevo. Ni una sola pista en relación con continentes u océanos.

Algunos de los primeros astrónomos que contemplaron Venus a través de un telescopio reconocieron que estaban examinando un mundo oculto bajo un manto de nubes. Las nubes, como sabemos ahora, están compuestas de gotitas de ácido sulfúrico concentrado y se tiñen de amarillo a causa de la presencia de cierta cantidad de azufre elemental. Se encuentran a gran altura. En luz visible ordinaria no se percibe una sola pista de cómo es la superficie de este planeta, situada a unos cincuenta kilómetros bajo la capa nubosa, y durante siglos no contábamos más que

con vagas suposiciones y teorías.

Cabría conjeturar que, observando con mayor atención, quizá pudiéramos descubrir algunas aberturas entre las nubes que nos irían revelando, día a día, pedazo a pedazo, la misteriosa superficie que es habitualmente inescrutable para nosotros. Entonces habría quedado atrás el tiempo de las suposiciones. Por término medio, la Tierra se halla semicubierta de nubes. En las primeras etapas de la exploración venusiana no considerábamos lógico que Venus estuviera tapada en un ciento por ciento. Si en lugar de eso lo estuviera solamente en un noventa por ciento, o incluso en un noventa y nueve por ciento, los parches momentáneamente despejados podrían revelarnos mucho.

En los años 1960 y 1961 se estaban ultimando los *Mariners 1* y *2*, las primeras naves americanas diseñadas para visitar Venus. Había quien, como yo mismo, opinaba que las naves debían ir equipadas con cámaras de vídeo, a fin de que pudieran transmitir imágenes a la Tierra. La misma tecnología se utilizaría unos cuantos años después cuando los *Rangers 7, 8 y 9* fotografiaron la Luna de camino hacia sus aterrizajes de emergencia, el último haciendo diana en el cráter Alfonso. Pero quedaba poco tiempo para la misión de Venus, y las cámaras eran muy pesadas. Algunos sostenían que las cámaras no eran propiamente instrumentos científicos, sino más bien objetos para la improvisación, el deslumbramiento y la gratificación del público, pero incapaces de responder a una sola incógnita científica directa y bien formulada. Se me ocurrió que la cuestión de si la capa de nubes presentaba realmente interrupciones podía ser muy bien una de esas preguntas. Argumenté que las cámaras eran asimismo susceptibles de dar respuesta a preguntas que nosotros éramos reticentes a plantear. Aduje que las fotos constituían el único recurso para mostrar al público —que, después de todo, era quien pagaba la factura— lo estimulantes que resultaban las misiones robóticas. Sea como fuere, finalmente no se incluyeron cámaras, y otras misiones subsiguientes justificaron, al menos en parte, la conclusión a que se llegó respecto a este planeta en particular: incluso con la elevada resolución de aproximaciones cercanas, en luz visible es manifiesto que no hay aberturas en la capa de nubes que recubre Venus, al igual que ocurre con el manto nuboso de Titán*.

Son mundos que se hallan tapados de forma permanente.

En la franja ultravioleta se aprecian detalles, si bien son debidos a parches transitorios en la niebla de gran altura, muy por encima de la capa nubosa principal. Las nubes giran alrededor del planeta con mucha mayor rapidez de lo que lo hace el planeta en sí: algo que se conoce como la superrotación. Así pues, en el ultravioleta tenemos incluso menores posibilidades de captar su superficie.

En cuanto supimos con certeza que la atmósfera de Venus es mucho más densa

* En el caso de Titán, las imágenes revelaron una sucesión de capas separadas sobre la cubierta principal de la aerosfera. Así pues, Venus resulta ser el único mundo del sistema solar en el cual las cámaras que funcionan con luz visible ordinaria *no* han descubierto nada importante. Por fortuna, en la actualidad hemos obtenido imágenes de prácticamente todos los mundos que hemos visitado. (El *International Cometary Explorer* de la NASA, que atravesó la cola del cometa Giacobini-Zimmer en 1985, volaba a ciegas, dedicándose fundamentalmente a partículas cargadas y campos magnéticos.)

que el aire de la Tierra —ahora sabemos que la presión en su superficie es noventa veces mayor que la que soportamos en nuestro planeta—, inmediatamente dedujimos que en luz visible ordinaria no iba a ser posible vislumbrar la superficie, aunque existieran efectivamente interrupciones en la envoltura nubosa. De ser así, la poca luz solar que consiguiera abrirse camino a través, de la tortuosa y densa atmósfera hasta el suelo sería reflejada de vuelta, eso es cierto, pero los fotones estarían tan revueltos a causa de la repetida dispersión de moléculas en las capas bajas de aire que no serían capaces de retener ninguna imagen de las características de la superficie. Algo así como tratar de distinguir un oso polar en medio de una tormenta de nieve. No obstante, este efecto, la intensa dispersión Rayleigh, declina rápidamente a medida que se incrementa la longitud de onda; en el infrarrojo cercano —resultó fácil calcularlo— se podía ver la superficie siempre que hubiera aberturas en la capa de nubes o bien si éstas eran transparentes en esa zona.

Así pues, en 1970, Jim Pollack, Dave Morrison y yo fuimos al Observatorio McDonald de la Universidad de Texas para efectuar un intento de observar Venus en el infrarrojo cercano. «Hipersensibilizamos» nuestras emulsiones; tratamos con amoniaco las placas fotográficas de cristal, el viejo método de siempre,[*] y algunas veces las calentábamos o las iluminábamos brevemente antes de colocarlas en el telescopio y exponerlas a la luz de Venus. Durante una temporada, los sótanos del Observatorio McDonald apestaron a amoniaco. Tomamos muchas fotografías, pero ninguna mostraba detalle alguno. Llegamos a la conclusión de que o bien no habíamos penetrado lo suficiente en el infrarrojo o las nubes de Venus eran opacas y continuas en el infrarrojo cercano.

Más de veinte años después, en una aproximación muy cercana a Venus, la nave *Galileo* examinó el planeta con mayor resolución y sensibilidad, y a unas longitudes de onda que penetraban un poco más en el infrarrojo de lo que nosotros podíamos conseguir con nuestras vulgares emulsiones sobre cristal. *Galileo* fotografió grandes cordilleras montañosas. En realidad, ya conocíamos su existencia; una técnica mucho más potente se había empleado ya con anterioridad: el radar. Las ondas de radio traspasan sin esfuerzo las nubes y la densa atmósfera de Venus, rebotan en su superficie y regresan a la Tierra, donde son recogidas y utilizadas para componer una imagen. Los primeros trabajos habían sido realizados principalmente por los radares americanos del JPL ubicados en la Tierra, en la estación de seguimiento Goldstone, en el desierto de Mojave, y del Observatorio Arecibo de Puerto Rico, dirigido por la Universidad de Cornell.

Posteriormente, los *Venera 15* y *16* soviéticos y la misión americana *Magallanes* insertaron telescopios de radar en órbita alrededor de Venus y cartografiaron el planeta de polo a polo. Cada nave transmitía una señal de radar hacia la superficie y luego la recogía al rebotar ésta. Mediante el registro del grado de reflexión cada porción de la superficie y del periodo de tiempo que invertía la señal en regresar (más corto desde las montañas, más largo desde los valles) pudo construirse lenta

---

[*] Hoy día, muchas imágenes telescópicas se obtienen mediante dispositivos electrónicos y son procesadas por computadora, tecnologías que los astrónomos no tenían a mano en 1970.

y laboriosamente un mapa de toda la superficie.

El mundo que se puso así de manifiesto resultó hallarse singularmente esculpido por flujos de lava (y, en menor grado, por el viento), tal como se describe en el próximo capítulo. Las nubes y la atmósfera de Venus se han vuelto hoy transparentes para nosotros, y hemos añadido otro mundo a la lista de los ya visitados por los bravos robots exploradores procedentes de la Tierra. Actualmente estamos aplicando a otras misiones la experiencia obtenida gracias a Venus, especialmente a las destinadas a Titán, donde, una vez más, una impenetrable cubierta de nubes mantiene oculta una enigmática superficie, y el radar está empezando a proporcionarnos pistas sobre lo que podría esconder.

Durante largo tiempo, Venus se consideró el planeta hermano de la Tierra. Es el que se encuentra más cerca de nosotros. Y, además, tiene prácticamente la misma masa, tamaño, densidad y atracción gravitatoria que nuestro planeta. Se halla algo más cerca del Sol que la Tierra, pero sus brillantes nubes reflejan mayor cantidad de luz solar de vuelta al espacio que las nuestras. De entrada sería lógico suponer que, bajo esa ininterrumpida capa de nubes, la superficie de Venus debe de parecerse bastante a la de la Tierra. Las primeras especulaciones científicas al respecto imaginaban la existencia de fétidos pantanos rebosantes de monstruosos anfibios, como en la Tierra durante el periodo Carbonífero: un mundo desierto, un mar global de petróleo y un océano de seltz, salpicado aquí y allá por islas incrustadas de piedra caliza. Aunque basados en algunos datos científicos, estos «modelos» de Venus —el primero se remonta a principios de siglo, el segundo a los años treinta y los dos últimos fueron esbozados a mediados de los cincuenta— eran poco más que romances científicos, apenas constreñidos por los escasos datos de que se disponía.

Luego, en 1956, Cornell H. Mayer y sus colegas publicaron un informe en *The Astrophysical Journal.* Habían colocado sobre el tejado del Laboratorio de Investigaciones Navales, en Washington D.C., un radiotelescopio recién montado, construido en parte para investigaciones clasificadas, enfocado hacia Venus, y habían medido el flujo de ondas de radio que llegaban a la Tierra. No se trataba de un radar: no había ondas de radio que rebotaran de la superficie de Venus. Pretendían captar las ondas de radio que Venus emite de por sí al espacio. El planeta resultó ser mucho más brillante que el fondo de las estrellas y galaxias distantes. Aunque ello en sí no era demasiado sorprendente. Cualquier objeto más caliente que el cero absoluto (-273 centígrados) libera radiación por todo el espectro electromagnético, incluyendo la región de radio. Una persona, por ejemplo, emite ondas de radio a una temperatura efectiva o de «brillo» de alrededor de 35 centígrados y, si se encontrara en un entorno más frío que su temperatura corporal, un radiotelescopio sensible podría detectar las débiles ondas de radio que transmite en todas direcciones. Todos somos emisores de ondas estáticas frías.

Lo sorprendente del descubrimiento de Mayer fue que la temperatura de brillo de Venus supera los 300 centígrados, siendo mucho más elevada que la temperatura de la superficie de la Tierra o la registrada en el infrarrojo de las

nubes de Venus. La temperatura de algunos lugares de dicho planeta parecía superar al menos en 200 centígrados el punto normal de ebullición del agua. ¿Qué podía significar?

Pronto surgió un aluvión de explicaciones. Argumenté que la elevada temperatura de brillo en la región de radio constituía una indicación directa de una superficie caliente, y que las altas temperaturas eran debidas a un masivo efecto invernadero por anhídrido carbónico y vapor de agua, en el cual se transmite algo de luz solar a través de las nubes que calienta la superficie, pero ésta tiene una enorme dificultad para radiarla de vuelta al espacio a causa de la elevada opacidad infrarroja de ambos componentes. El anhídrido carbónico absorbe una serie de longitudes de onda del infrarrojo, pero aparentemente existían «ventanas» entre las bandas de absorción del CO_2, a través de las cuales la superficie podía enfriarse fácilmente al espacio.

Sin embargo, el vapor de agua absorbe las frecuencias del infrarrojo que corresponden, en parte, a las ventanas que presenta la opacidad del anhídrido carbónico. Ambos gases juntos —se me ocurrió—podían muy bien absorber casi la totalidad de la emisión infrarroja, aunque hubiera muy poco vapor de agua, algo así como dos vallas de estacas superpuestas, casualmente colocadas de tal manera que las estacas de una cubren los huecos de la otra.

Se propuso también una explicación de orden muy distinto, según la cual la elevada temperatura de brillo de Venus nada tenía que ver con su superficie. Esta podía ser templada, clemente, asequible. Se sugirió que debía de ser alguna región en la atmósfera de Venus o en la magnetosfera que la rodea la que emitía esas ondas de radio al espacio. También se apuntaron posibles descargas eléctricas entre las gotitas de agua de las nubes del planeta. Y una descarga de luminosidad mediante la cual los iones y los electrones se recombinaban en las capas altas de la atmósfera durante el crepúsculo y el amanecer. Asimismo, hubo quien defendió la posibilidad de una ionosfera muy densa, en la cual la aceleración mutua entre electrones sueltos («emisión libre-libre») liberaba ondas de radio. (Un defensor de esta idea llegó a sugerir que la elevada ionización requerida era debida a un nivel de radiactividad, por término medio, diez mil veces mayor en Venus que en la Tierra, tal vez como consecuencia de una reciente guerra nuclear en ese planeta.) Y, finalmente, a la luz del descubrimiento de la radiación en la magnetosfera de Júpiter, parecía lógico pensar que la emisión de radio pudiera proceder de una inmensa nube de partículas cargadas, cautivas de un hipotético campo magnético venusiano muy intenso.

En una serie de trabajos que publiqué a mediados de la década de los sesenta, muchos de ellos en colaboración con Jim Pollack,* sometimos a análisis esos

---

* James B. Pollack efectuó importantes contribuciones en todas las áreas de la ciencia planetaria. Fue el primero de mis alumnos en doctorarse y, desde ese momento, le consideré siempre un colega muy apreciado. Convirtió el Centro de Investigación Ames de la NASA en líder mundial en el ámbito de la investigación planetaria, así como en lugar predilecto para la realización de prácticas posdoctorales para los científicos planetarios. Su bondad era tan extraordinaria como sus habilidades científicas. Murió en 1994, en pleno apogeo de sus facultades.

contradictorios modelos que presentaban una región emisora de elevado calor y una superficie fría.

Para entonces contábamos ya con dos importantes nuevos indicios: el espectro de radio de Venus y las pruebas aportadas por el *Mariner 2* de que la emisión de radio es más intensa en el centro del disco de Venus que hacia los bordes. En 1967 pudimos excluir los modelos alternativos con bastante fiabilidad y concluir que la superficie de Venus, a diferencia de la de la Tierra, se encuentra a unas temperaturas elevadísimas, que superan los 400°C. Pero dicho argumento fue una deducción que supuso muchos pasos intermedios. Deseábamos efectuar una medición más directa.

En octubre de 1967, conmemorando el décimo aniversario del *Sputnik I,* la nave soviética *Venera 4* lanzó un módulo de descenso sobre las nubes de Venus. Éste pudo mandar datos desde las calientes capas inferiores de la atmósfera, pero no sobrevivió a su contacto con la superficie. Un día después, la nave espacial de Estados Unidos *Mariner 5* voló próxima a Venus, y la transmisión de radio que envió a la Tierra desgranaba la atmósfera a profundidades cada vez mayores. El grado de desvanecimiento de la señal proporcionó información acerca de las temperaturas atmosféricas. Si bien parecían existir ciertas discrepancias (posteriormente solucionadas) entre las secuencias de datos de ambas naves, todos ellos indicaban inequívocamente que la superficie de Venus es muy caliente.

Desde entonces, toda una serie de naves soviéticas *Venera* y unas cuantas naves americanas desde la misión *Pioneer 12* han penetrado la atmósfera profunda o tomado tierra sobre la superficie de Venus y han medido directamente —casi siempre sosteniendo un termómetro en el exterior— las temperaturas de la superficie y de las zonas cercanas a la misma. Estas oscilan alrededor de los 470 centígrados, casi 900 Farenheit. Si tenemos en cuenta factores tales como los errores de calibración de los radiotelescopios terrestres y la emisividad de la superficie, las primeras radioobservaciones y las posteriores mediciones directas de las naves se corresponden bien.

Los primeros vehículos soviéticos de aterrizaje fueron diseñados para una atmósfera, en cierto modo, semejante a la nuestra. Dichas sondas fueron aplastadas por las altas presiones como una lata entre los dedos de un forzudo luchador o como un submarino de la segunda guerra mundial en la fosa de Tonga. Tras dichas experiencias, las sondas soviéticas de descenso a Venus fueron notablemente reforzadas, al igual que los submarinos modernos, y consiguieron aterrizar con éxito sobre la ardiente superficie. Una vez conocida la profundidad de la atmósfera y el espesor de las nubes, los diseñadores soviéticos empezaron a preocuparse por el hecho de que la superficie pudiera ser negra como el carbón. Las naves *Venera 9* y *10* iban equipadas con reflectores. Pero éstos se revelaron innecesarios. Un bajo porcentaje de la luz solar que cae sobre las nubes logra abrirse camino hasta el suelo, y Venus posee más o menos la luz de que disfruta la Tierra en un día encapotado.

La resistencia a imaginar una superficie incandescente para Venus puede

atribuirse, supongo, a nuestra renuencia a abandonar la noción de que el planeta más cercano es compatible con la vida, con la exploración futura y quizá incluso, a más largo plazo, con la posibilidad de establecer en él asentamientos humanos. No obstante, al parecer allí no hay lodazales como los del Carbonífero, ni océanos globales de petróleo ni de seltz. Por el contrario, Venus es un asfixiante infierno en continua ebullición. Hay algunos desiertos, pero es fundamentalmente un planeta de mares de lava solidificada. Nuestras esperanzas se han desvanecido por completo. La llamada de este mundo es hoy mucho más matizada que en las primeras etapas de exploración, cuando casi todo era posible y nuestras nociones más románticas respecto a Venus podían todavía, por lo que sabíamos entonces, hacerse realidad.

Muchas naves espaciales contribuyeron a la comprensión que actualmente tenemos de Venus. Pero la misión pionera fue la del M*ariner 2.* El *Mariner* 7 falló durante el lanzamiento y —como se dice cuando un caballo de carreras se rompe una pata— tuvo que ser sacrificado. El *Mariner 2* trabajó a la perfección y proporcionó los primeros datos de radio, que resultaron vitales para determinar el clima del planeta. Realizó observaciones en el infrarrojo de las propiedades de las nubes. En su trayectoria desde la Tierra a Venus descubrió y midió el viento solar, el flujo de partículas cargadas que emana del Sol hacia el exterior, llenando las magnetosferas de todos los planetas que se cruzan en su camino, hinchando las colas de los cometas y estableciendo la distante heliopausa. El *Mariner 2* fue la primera sonda planetaria que conoció el éxito, la nave que inauguró la era de la exploración planetaria.

Todavía se encuentra en órbita alrededor del Sol, acercándose cada pocos cientos de días, más o menos tangencialmente, a la órbita de Venus. No obstante, cada vez que eso ocurre, Venus no está allí. Pero si esperamos lo suficiente, algún día lo estará y el *Mariner 2* será acelerado por la gravedad del planeta hacia otra órbita distinta. Finalmente, al igual que algún que otro corpúsculo celeste de épocas pasadas, el *Mariner 2* será absorbido por otro planeta, engullido por el Sol o bien eyectado fuera del sistema solar.

Hasta entonces, este precursor de la era de exploración planetaria, este minúsculo planeta artificial, continuará orbitando en silencio al Sol. Un poco como si el barco bandera de Colón, la *Santa María,* con una tripulación fantasma, estuviera todavía cubriendo el recorrido a través del Atlántico, desde Cádiz hasta La Española. En medio del vacío del espacio interplanetario, el *Mariner 2* debería conservarse en su condición original durante muchas generaciones.

El deseo que yo le formulo al lucero de la tarde y del alba es el siguiente: que, bien entrado el siglo XXI, una nave grande en tránsito común, mediante ayuda gravitatoria, hacia el exterior del sistema solar intercepte a esta antigua reliquia y la suba a bordo, a fin de que pueda ser expuesta en un museo sobre tecnología espacial primitiva, ya sea en Marte, Europa o Japeto.

CAPÍTULO 12

EL SUELO SE FUNDE

A medio camino entre Thira y Therasia brotaron fuegos en el océano
que prendieron durante cuatro días, de tal forma que todo el mar hervía y llameaba,
y los fuegos formaron una isla que se fue elevando gradualmente, como levantada por palancas...
Concluida la erupción, los habitantes de Rhodas, en pleno apogeo de su supremacía marítima,
fueron los primeros en llegar a escena y erigir sobre la isla un templo.
ESTRABÓN, *Geografía* (aprox. 7 a. J.C.)

Por toda la Tierra podemos encontrar un tipo de montaña provista de una sorprendente e inusual característica. Hasta un niño la reconocería: su cima parece cortada, como amputada. Si trepamos hasta la cumbre o la sobrevolamos descubriremos que se halla coronada por un agujero o cráter. Algunas montañas de este tipo tienen cráteres pequeños; en otras son casi tan grandes como la montaña en sí. A veces los cráteres están llenos de agua. En otras ocasiones contienen un líquido extraño: subimos hasta arriba y observamos amplios y brillantes lagos de un líquido entre amarillo y rojo, así como surtidores de fuego. Estos agujeros en la cima de las montañas reciben el nombre de calderas, y las montañas que coronan son, naturalmente, los volcanes, que deben su nombre a Vulcano, el dios del fuego de los romanos. Se han contado en la Tierra alrededor de seiscientos volcanes activos. Y todavía quedan por descubrir algunos bajo las aguas oceánicas.

Una típica montaña volcánica parece del todo inofensiva. La vegetación natural se enfila por sus laderas. Campos en terraza decoran sus flancos. Villorrios y santuarios adornan sus bases. Sin embargo, de pronto y sin previo aviso, después de siglos de lasitud, esa montaña puede explotar. Torrentes de grandes piedras y cenizas salen despedidos hacia el cielo. Ríos de roca fundida se deslizan por sus laderas. Hubo un tiempo en que se pensaba que un volcán activo era un gigante aprisionado o un demonio luchando por salir al exterior.

Las erupciones del monte Santa Helena y del Pinatubo constituyen recordatorios recientes, pero se han dado multitud de ejemplos a lo largo de toda la historia. En 1902, una resplandeciente nube volcánica incandescente bajó reptando por las laderas del monte Pelee y mató a 35 000 personas en la ciudad de St. Pierre, en la isla caribeña de la Martinica. Enormes corrientes de barro

procedentes de la erupción del volcán Nevado del Ruiz acabaron en 1985 con la vida de más de veinticinco mil colombianos. La erupción del monte Vesubio, en el siglo I, enterró bajo la ceniza a los desventurados habitantes de Pompeya y Herculano, y acabó con la vida del intrépido naturalista Plinio el Viejo, cuando éste ascendía hacia la cima en un intento de adquirir una mejor comprensión de su funcionamiento. (Y, ciertamente, Plinio no fue el último: quince vulcanólogos han perdido la vida en diversas erupciones volcánicas entre 1979 y 1993.) La isla mediterránea de Santorini (también llamada Thira) es en realidad la única parte que emerge a la superficie de un volcán hoy inundado por el mar*.

En opinión de algunos historiadores, la explosión del volcán de Santorini, en 1623 a. J.C., pudo contribuir a la destrucción de la gran civilización minoica en la cercana isla de Creta y provocar un cambio en el equilibrio de poderes de la civilización clásica primitiva. Dicho desastre puede ser también el origen de la leyenda de la Atlántida tal como la refiere Platón, según el cual una civilización entera fue destruida «en un solo día y una sola noche de infortunio». Debió de ser fácil por aquel entonces pensar que algún dios se había enfadado.

Los volcanes han sido contemplados desde siempre con espanto y admiración temerosa. Cuando los cristianos de la Edad Media presenciaron la erupción del monte Hekla en Islandia, y vieron fragmentos incandescentes de lava blanda precipitarse al exterior desde su cúspide, imaginaron que estaban contemplando las almas de los condenados esperando para entrar en el infierno. Dejaron la debida constancia de «los terribles gritos, el llanto y el crujir de dientes», así como de «los aullidos de melancolía y los lamentos» que se escuchaban. Los relucientes lagos rojos y los gases sulfurosos de la caldera del Hekla fueron considerados una panorámica real del temible mundo subterráneo y una confirmación palpable de la creencia popular en el infierno (así como, por simetría, de la existencia de su polo opuesto, el cielo).

Un volcán es, de hecho, una abertura hacia un mundo subterráneo mucho más vasto que la fina capa superficial que habitan los seres humanos, y además mucho más hostil. La lava que escupe un volcán es roca líquida, roca llevada hasta su punto de fusión, generalmente alrededor de los mil grados. La lava emerge de un agujero en la Tierra; cuando se enfría y solidifica, genera y luego va remodelando los flancos de una montaña volcánica.

Las zonas de la Tierra más activas en lo que a volcanes se refiere tienden a estar situadas a lo largo de las dorsales oceánicas en el fondo marino y en los arcos de las islas, donde confluyen dos grandes placas de corteza oceánica, ya sea en proceso de separación una de otra o bien de deslizamiento una bajo la otra. En suelo marino hay largas zonas de erupciones volcánicas —acompañadas de multitud de temblores de tierra y columnas de humo abisal y agua caliente— que estamos únicamente empezando a observar mediante robots y vehículos sumergibles tripulados.

* La erupción de un volcán submarino adyacente y la rápida construcción de una nueva isla en el año 197 a. J.C. son descritas por Estrabón en el epígrafe que abre el presente capítulo.

Las erupciones de lava indican que el interior de la Tierra está extremadamente caliente. De hecho, la evidencia sísmica demuestra que, solamente a unos cientos de kilómetros debajo de su superficie, casi todo el cuerpo de la Tierra se encuentra, al menos ligeramente, fundido. El interior de la Tierra está caliente, en parte porque contiene elementos radiactivos, como el uranio, que liberan calor a medida que se van desintegrando, y en parte porque la Tierra retiene algo del calor original liberado durante su proceso de formación, cuando muchos mundos pequeños, por sus gravedades mutuas, confluyeron para formar la Tierra, y el hierro se aglutinó dando lugar al núcleo de nuestro planeta.

La roca fundida, o magma, asciende a través de fisuras en las rocas sólidas circundantes, más pesadas. Cabe imaginar amplias cavernas subterráneas, inundadas de líquidos rojos resplandecientes, burbujeantes y viscosos, que son disparados hacia la superficie tan pronto como, por casualidad, encuentran un canal apropiado. El magma, denominado lava, una vez se precipita al exterior a través de la caldera, procede efectivamente del mundo subterráneo. Pero hasta ahora no se ha detectado ningún rastro de las almas de los condenados al infierno.

Cuando el volcán ha completado en erupciones sucesivas su proceso de formación y deja de escupir lava por la caldera, se convierte en una montaña como cualquier otra y sufre la lenta erosión que provoca la lluvia o los materiales arrastrados por el viento, así como, eventualmente, el movimiento de las placas tectónicas a lo largo de la superficie terrestre. «¿Cuántos años puede existir una montaña antes de ser arrastrada hacia el mar?», se preguntaba Bob Dylan en la balada *Blowing in the wind.* La respuesta depende del planeta al que nos estemos refiriendo. En el caso de la Tierra, normalmente tarda unos diez millones de años. En consecuencia, las montañas, tanto volcánicas como de otro tipo, deben formarse en el mismo plazo de tiempo, pues de otro modo la Tierra sería toda ella tan lisa como Kansas*.

Las explosiones volcánicas pueden lanzar grandes cantidades de materia —principalmente finas gotitas de ácido sulfúrico— a la estratosfera. Allí, durante un año o dos, rebotan la luz solar al espacio y enfrían la Tierra. Eso es lo que sucedió recientemente con el volcán filipino Pinatubo, y también, aunque con visos de desastre, en 1815-1816, tras la erupción del volcán indonesio monte Tambora, que provocó «el año sin verano», marcado por la hambruna. Una erupción volcánica en Taupo, Nueva Zelanda, en el año 177, enfrió el clima del Mediterráneo, a medio mundo de distancia, y arrojó finas partículas sobre el casquete polar de Groenlandia. La explosión del monte Mazama, en Oregón (que originó la caldera hoy conocida como cráter Lake), en el año 4803 a. J.C., acarreó consecuencias climáticas en todo el hemisferio norte. Diversos estudios relacionados con los efectos de los volcanes sobre el clima formaban parte de la línea de investigación que condujo finalmente al descubrimiento del invierno nuclear. Dichos estudios

* A pesar de sus montañas y sus fosas submarinas, nuestro planeta es sorprendentemente liso. Si la Tierra tuviera el tamaño de una bola de billar, las protuberancias más grandes tendrían menos de una décima de milímetro, rozando el umbral de ser demasiado pequeñas para poder verlas o tocarlas.

proporcionan importantes pruebas para nuestro empleo de modelos computerizados en la predicción de futuros cambios climáticos. Las partículas volcánicas inyectadas en las capas altas de la atmósfera constituyen, por otra parte, una causa adicional de la reducción de la capa de ozono.

Así pues, una gran explosión volcánica en un oscuro y poco frecuentado lugar del mundo es capaz de alterar el medio ambiente a escala global. Tanto en sus orígenes como en sus efectos, los volcanes nos recuerdan lo vulnerables que somos frente a eructos y estornudos menores del metabolismo interno de la Tierra y lo importante que puede ser para nosotros comprender cómo funciona ese motor calorífico subterráneo.

Se cree que, en los estadios finales de formación de la Tierra —y también de la Luna, Marte y Venus—, los impactos de pequeños mundos generaron océanos globales de magma. La roca fundida inundaba la topografía preexistente. Grandes crecidas de magma líquido rojo e incandescente, acompañadas de olas de kilómetros de altura, surgieron del corazón del planeta, extendiéndose por su superficie y quemándolo todo a su paso: montañas, canales, cráteres y quizá también la última evidencia de tiempos más clementes y mucho más antiguos. El odómetro geológico volvió a colocarse a cero. Todos los registros accesibles de la geología superficial empiezan con la última inundación global de magma. Antes de enfriarse y solidificarse, los océanos de lava pueden tener cientos y aun miles de kilómetros de espesor. En nuestro tiempo, miles de millones de años después, la superficie de un mundo así puede ser tranquila, inactiva, sin mostrar indicio alguno de vulcanismo común. O bien puede conservar, como la Tierra, algunos recordatorios a pequeña escala de una época en que la totalidad de la superficie estaba inundada de roca líquida.

En las primeras etapas de la geología planetaria todos los datos de que disponíamos se limitaban a las observaciones de telescopios basados en la Tierra. Durante medio siglo se mantuvo un ardiente debate acerca de si los cráteres de la Luna eran debidos a impactos o a volcanes. Se detectaron unos pocos montículos bajos coronados por calderas, casi con seguridad volcanes lunares. Pero los cráteres grandes en forma de ensaladera o de cazuela, asentados sobre terreno llano y no en las cumbres de las montañas, eran distintos. Algunos geólogos quisieron ver en ellos similitudes con ciertos volcanes altamente erosionados que hay en la Tierra. Otros discrepaban. El mejor argumento en contra radicaba en reconocer que tenemos la certeza de que existen cometas y asteroides transitando junto a la Luna, y que deben colisionar con ella en alguna ocasión, formando cráteres. A lo largo de la historia de la Luna deben de haber sido excavados de ese modo gran número de ellos. Así pues, si los cráteres que vemos no se deben a impactos, ¿dónde están los cráteres de impacto? Hoy tenemos la certeza, gracias al análisis directo en el laboratorio, de que los cráteres lunares se originaron casi en su totalidad a causa de impactos. Pero cuatro mil millones de años atrás ese pequeño mundo, hoy prácticamente muerto, burbujeaba y ardía a consecuencia del vulcanismo primigenio provocado por fuentes de calor interno que se apagaron

hace mucho tiempo.

En noviembre de 1971, la nave espacial *Mariner 9*, de la NASA, llegó a Marte y encontró el planeta completamente oscurecido por una tormenta global de polvo. Los únicos rasgos visibles eran cuatro lugares con forma circular que emergían de la rojiza lobreguez. Estos lugares presentaban una característica peculiar: sus cimas estaban agujereadas. Cuando se disipó la tormenta pudimos ver claramente que habíamos estado contemplando cuatro enormes montañas volcánicas a través de la nube de polvo, coronadas cada una de ellas por una gran caldera.

Pasada la tormenta se puso de manifiesto la verdadera envergadura de dichos volcanes. El más grande —oportunamente bautizado como Olympus Mons o monte Olimpo, igual que el hogar de los dioses griegos— tiene más de veinticinco kilómetros de altura, y empequeñece no sólo el volcán más grande de la Tierra, sino también la montaña más grande de cualquier tipo, el monte Everest, que se eleva nueve kilómetros por encima de la meseta tibetana. En Marte hay unos veinte volcanes grandes, pero ninguno tan colosal como el Olympus Mons, que tiene un volumen equivalente a cien veces el volcán más grande de la Tierra, el Mauna Loa, de Hawai.

Contando los cráteres de impacto acumulados en los flancos de los volcanes (causados por colisiones de pequeños asteroides y fácilmente distinguibles de las calderas de sus cimas), pueden realizarse estimaciones en relación con su edad. Algunos volcanes marcianos tienen unos pocos miles de millones de años de antigüedad, aunque ninguno se remonta a la época de origen del planeta, que se sitúa alrededor de los 4500 millones de años. Otros, como el monte Olimpo, son comparativamente nuevos, quizá de hace sólo unos pocos cientos de millones de años. Está claro que en la historia primitiva de Marte se produjeron enormes explosiones volcánicas, propiciando tal vez una atmósfera mucho más densa de la que presenta dicho planeta en la actualidad. ¿Qué aspecto habría tenido ese lugar si hubiéramos podido visitarlo entonces?

Algunas ondulaciones volcánicas (por ejemplo, en Cerberus) se formaron en fecha tan reciente como doscientos millones de años atrás. Incluso es posible, supongo, aunque no existe ninguna prueba en un sentido o en otro, que el Olympus Mons, el volcán más grande conocido en el sistema solar, entre de nuevo en actividad. Los vulcanólogos, una especie dotada de enorme paciencia, darían sin duda la bienvenida al acontecimiento.

En 1990-1993 la nave *Magallanes* obtuvo asombrosos datos de radar referentes a las formas del paisaje de Venus*. Los cartógrafos prepararon mapas de casi todo el planeta, muy detallados al disponer de una resolución de unos cien metros, la distancia que separa ambas líneas de gol en un campo de fútbol. *Magallanes* radió

---

* La edad de la superficie de Venus, determinada a partir de las imágenes de radar obtenidas por *Magallanes,* socava todavía más las tesis de Immanuel Velikovsky, quien propuso alrededor de 1950, con una sorprendente aclamación por parte de la prensa, que 3 500 años atrás Júpiter escupió un «cometa» gigante que efectuó diversas colisiones rozando la Tierra, desencadenando determinados acontecimientos que aparecen en crónicas de libros antiguos (tales como el cese de la rotación de la Tierra por orden de Josué) y, a continuación, se transformó en el planeta Venus. Todavía hay gente que se toma en serio esta clase de teorías.

más datos a la Tierra que todas las restantes misiones planetarias juntas. Dado que la mayor parte del fondo marino terrestre permanece inexplorado (exceptuando quizá algunos datos todavía clasificados, obtenidos por las fuerzas navales americanas y soviéticas), puede que sepamos más sobre la topografía de la superficie de Venus que de la de cualquier otro planeta, incluida la Tierra. Gran parte de la geología de Venus es distinta de todo lo que se ha visto hasta ahora en la Tierra o más allá. Los geólogos planetarios han puesto nombres a esos accidentes geográficos, aunque eso no significa que comprendamos del todo cómo se han formado.

Al ser la temperatura sobre la superficie de Venus de unos 470 grados centígrados, las rocas venusianas se encuentran mucho más cerca de su punto de fusión que en la superficie de la Tierra. Las rocas comienzan a ablandarse y a fluir a profundidades mucho menores en Venus que en nuestro planeta. Esa es muy probablemente la razón que explica que muchos rasgos geológicos de Venus tengan la apariencia de plástico deformado.

El planeta está cubierto de llanuras volcánicas y altiplanos. Las construcciones geológicas incluyen conos volcánicos, probables escudos volcánicos y calderas. En muchos lugares se aprecia cómo la lava ha cubierto vastas extensiones. Las características de algunas llanuras, que superan los doscientos kilómetros de extensión, han propiciado que se las denomine festivamente «ácaros» y «arácnidos» (vulgarmente, «similares a las arañas»), por ser depresiones circulares rodeadas de anillos concéntricos, de cuyo centro parten radialmente largas grietas superficiales. También se observan ocasionales «tortas abovedadas», un accidente geológico desconocido en la Tierra que es probablemente algún tipo de volcán, formadas por lava espesa y viscosa que fluye lenta y uniformemente en todas direcciones. Hay multitud de ejemplos de flujos de lava más irregulares. Las «coronas», unas curiosas estructuras anulares, aparecen alineadas a lo largo de extensiones de hasta dos mil kilómetros. Los flujos de lava distintivos sobre el ardiente planeta Venus nos brindan un rico menú de misterios geológicos.

Los rasgos más peculiares e inesperados son los sinuosos canales que, con sus meandros y recodos, ofrecen la apariencia de los valles fluviales terrestres. Los más largos lo son más que los de los ríos más importantes de la Tierra. Pero en Venus la temperatura es demasiado elevada como para que pueda haber agua líquida. Y podemos afirmar, debido a la ausencia de cráteres de impacto pequeños, que la atmósfera ha tenido la misma densidad —y ha inducido tan importante efecto invernadero— durante toda la etapa de existencia de la superficie actual. (De haber sido mucho más ligera, los asteroides de tamaño mediano no se habrían desintegrado al penetrar en ella, sino que habrían sobrevivido para excavar cráteres al colisionar con la superficie del planeta.) La lava que fluye ladera abajo forma, efectivamente, canales tortuosos (en ocasiones bajo la tierra, causando el posterior colapso del techo del canal). Pero incluso a temperaturas como la de Venus, la lava irradia calor, se enfría, va ralentizando su avance, cuaja y se detiene. El magma se solidifica. En general, los canales de lava no llegan a alcanzar el diez

por ciento de la longitud de los largos canales de Venus, antes de solidificarse. Algunos geólogos planetarios opinan que en dicho planeta se genera un tipo de lava especialmente ligera, acuosa y poco viscosa. Sin embargo, se trata de una especulación que no se apoya en ningún otro dato y supone una confesión de nuestra ignorancia.

La gruesa atmósfera se mueve lentamente y, al ser tan densa, es muy propensa a levantar y transportar partículas finas. En consecuencia, se observan en Venus rayas creadas por el viento, que emanan principalmente de los cráteres de impacto, donde los habituales vientos del planeta han barrido montones de arena y polvo, originando una especie de veleta climática impresa en la superficie. Aquí y allá nos ha parecido distinguir campos de dunas arenosas y provincias donde la erosión eólica ha esculpido formas volcánicas sobre el terreno. Estos procesos dirigidos por el viento tienen lugar a cámara lenta, como si se tratara del fondo del mar. Los vientos son leves en la superficie de Venus. Una suave ráfaga puede ser suficiente para levantar una nube de finas partículas, aunque en ese infierno incandescente es difícil conseguir una racha de viento.

En Venus hay muchos cráteres de impacto, pero nada comparable con el elevado número de ellos que presentan la Luna o Marte. Singularmente, no existen en ese planeta cráteres inferiores en tamaño a unos cuantos kilómetros de diámetro. El motivo es comprensible: los asteroides y cometas pequeños se desintegran al penetrar en su densa atmósfera y no llegan a impactar en la superficie. La limitación observada en el tamaño de los cráteres se corresponde muy bien con la densidad actual de la atmósfera de Venus. Determinadas manchas irregulares que aparecen en las imágenes tomadas por la nave *Magallanes* se atribuyen a restos de cuerpos de impacto que se fragmentaron a causa del espesor del aire antes de que pudieran llegar a excavar un cráter.

Muchos de los cráteres de impacto son notablemente prístinos y se conservan muy bien; sólo un reducido porcentaje de los mismos ha sido inundado por posteriores corrientes de lava. La superficie de Venus, tal como la ha revelado *Magallanes,* es extremadamente joven. Se observan tan pocos cráteres, que todo lo que sea más antiguo que quinientos millones de años debe de haber sido erradicado, sobre un planeta cuya edad alcanza, casi con seguridad, los 4500 millones de años. Solamente hay un agente erosivo que resulte plausible y adecuado para explicar lo que vemos: el vulcanismo. A lo largo de todo el planeta, cráteres, montañas y otros rasgos geológicos han sido inundados por mares de lava que, en su día, fueron lanzados al exterior desde el interior, fluyendo a sus anchas, y luego se solidificaron.

Tras pasar revista a una superficie tan joven cubierta de magma sólido, nos preguntaremos si queda todavía algún volcán activo. No se ha detectado ninguno de manera inequívoca, pero hay unos cuantos —por ejemplo el que llamamos Maat Mons— que aparecen rodeados de lava fresca y que es posible que estén todavía ardiendo y humeando. Existen algunas evidencias de que la abundancia de compuestos de azufre en las capas altas de la atmósfera varía con el tiempo,

como si los volcanes de la superficie estuvieran inyectando episódicamente en ella dichos materiales. Cuando los volcanes están extinguidos, simplemente no se detectan compuestos de azufre en el aire. También existe alguna evidencia, aunque bastante discutida, de la acción de relámpagos alrededor de las cimas de las montañas de Venus, como ocurre a veces sobre volcanes activos de la Tierra. No obstante, no podemos asegurar que haya vulcanismo activo en Venus. Esa será una cuestión que deberán resolver futuras misiones.

Algunos científicos sostienen que, hasta hace unos quinientos millones de años, la superficie de Venus carecía casi por completo de formas. Corrientes y océanos de roca fundida afluían implacablemente desde su interior, rellenando y sumergiendo cualquier relieve que hubiera podido formarse. Si en ese momento nos hubiésemos dejado caer a través de las nubes, habríamos descubierto una superficie prácticamente uniforme y sin accidentes. De noche, el paisaje habría mostrado un resplandor infernal, debido al rojo calor de la lava fundida. En esta visión, el gran motor calorífico de Venus, que aportó copiosas cantidades de magma a la superficie hasta hace quinientos millones de años, se encuentra parado en la actualidad. El motor calorífico planetario ha dejado al fin de funcionar.

En otro provocativo modelo teórico, éste concebido por el geofísico Donald Turcotte, Venus posee una tectónica de placas como la de la Tierra, pero en este caso se activa y se desactiva. En este momento, propone, la tectónica de placas se halla desactivada; los «continentes» no se mueven a través de la superficie, no chocan unos con otros y no erigen, por tanto, cadenas montañosas, que luego no se precipitan hacia las profundidades del interior. Sin embargo, después de cientos de años de silencio, la tectónica de placas siempre acaba por activarse y las formas superficiales se inundan de lava, son destruidas por la formación de montañas y la subducción, siendo finalmente borradas del mapa. El último proceso activo concluyó hace unos quinientos millones de años, sugiere Turcotte, y desde entonces todo ha permanecido tranquilo. No obstante, la presencia de coronas puede significar —a un plazo que geológicamente se sitúa en un futuro próximo— que nuevamente están a punto de producirse cambios masivos en la superficie de Venus.

Más inesperado incluso que los grandes volcanes marcianos o la superficie inundada de lava que presenta Venus es lo que descubrimos después de que, en marzo de 1979, la nave espacial *Voyager 1* se encontrara con Io, la más interior de las cuatro grandes lunas galileanas de Júpiter. Se abrió ante nuestros ojos un pequeño y extraño mundo multicolor totalmente plagado de volcanes. Contemplándolo asombrados, descubrimos ocho penachos activos que lanzaban al aire gas y partículas finas. El más grande, hoy llamado Pelé —como la diosa hawaiana de los volcanes—, proyectaba una fuente de material a 250 kilómetros de distancia en el espacio, a mayor altitud sobre la superficie alcanzada por algunos astronautas sobre la Tierra. Cuando el *Voyager 2* llegó a Io, Pelé se había apagado, si bien otros seis penachos aún se mantenían activos, se descubrió por lo menos uno nuevo y otra caldera, denominada Surt, había cambiado remarcablemente de

color.

Los colores de Io, aunque exagerados en las imágenes de colores intensificados de la NASA, no tienen parangón en ningún otro lugar del sistema solar. La explicación comúnmente aceptada es que los volcanes de Io no lanzan al aire roca fundida, como los de la Tierra, la Luna, Venus y Marte, sino dióxido de azufre y azufre fundido. La superficie se halla salpicada de montañas volcánicas, calderas volcánicas, fisuras y lagos de azufre fundido. Diversas formas y compuestos de azufre han sido detectados sobre la superficie de Io y en el espacio circundante; los volcanes barren ciertas cantidades del azufre de Io*.

Estos hallazgos han inducido a pensar en la existencia de un mar subterráneo de azufre líquido que emerge a la superficie por puntos débiles, genera un montículo volcánico poco profundo, se desliza ladera abajo y va solidificándose, quedando su color definitivo determinado por su temperatura en el momento de la erupción.

En la Luna o Marte pueden encontrarse muchos lugares que apenas han cambiado en el transcurso de mil millones de años. En Io, a lo largo de un solo siglo gran parte de la superficie debería inundarse de nuevo, quedando recubierta o borrada a causa de nuevas corrientes de lava volcánica. En ese caso, los mapas de Io pronto serán obsoletos, y la cartografía de ese mundo se convertirá en una industria en constante crecimiento.

Todo esto parece desprenderse de las observaciones efectuadas por el *Voyager.* La medida en que la superficie aparece cubierta por flujos volcánicos comunes implica el advenimiento de cambios masivos en cincuenta o cien años, una predicción que afortunadamente ha podido ser comprobada. Las imágenes de Io tomadas por dicha nave pueden compararse con otras mucho más pobres, obtenidas cincuenta años atrás por telescopios desde la Tierra, y con las del telescopio espacial Hubble, captadas trece años después. La sorprendente conclusión parece indicar que las grandes marcas superficiales de Io apenas han sufrido ningún cambio. Está claro que se nos está escapando algo.

Un volcán encarna en cierto sentido las entrañas de un planeta manando a chorro, hacia el exterior, una herida que finalmente se cura al enfriarse, sólo para ser reemplazada por nuevos estigmas. Mundos distintos poseen entrañas diferentes. El hallazgo de vulcanismo de azufre líquido en Io fue algo así como descubrir, a raíz de un accidente, que de las venas de un amigo brota sangre verde. No teníamos ni idea de que fueran posibles tales diferencias. Parecía tan normal...

Naturalmente, estamos deseosos de encontrar indicios adicionales de vulcanismo en otros mundos. En Europa, el segundo de los satélites galileanos de Júpiter, vecino de Io, no hay montañas volcánicas en absoluto, pero parece que ha brotado a la superficie hielo fundido —agua líquida—, a través de un enorme número de marcas oscuras entrecruzadas, antes de congelarse. Y más hacia el exterior, entre las lunas de Saturno, se observan asimismo indicios de ese mismo

* Los volcanes de Io constituyen, asimismo, la copiosa fuente de átomos cargados eléctricamente, como el oxígeno y el azufre, que componen un fantasmal tubo de materia en forma de rosquilla, rodeando a Júpiter.

fenómeno, que ha borrado los cráteres de impacto. Aun así, nunca hemos visto nada que plausiblemente pudiera ser un volcán de hielo, ni en el sistema de Saturno ni en el de Júpiter. Posiblemente hayamos observado vulcanismo de nitrógeno o metano en Tritón.

Los volcanes de otros mundos nos proporcionan un espectáculo excitante. Incrementan nuestra admiración, nuestro gozo por la belleza y diversidad del cosmos. Pero esos exóticos volcanes rinden además otro servicio: contribuyen a nuestro conocimiento de los volcanes de nuestro propio mundo, y quizá algún día nos enseñarán incluso a predecir sus erupciones. Si no somos capaces de comprender lo que ocurre en otras circunstancias en que los parámetros físicos son distintos, ¿hasta qué punto podremos comprender la circunstancia que nos concierne en mayor medida? Una teoría general sobre el vulcanismo debe abarcar todos los casos. Cuando nos topamos con enormes eminencias volcánicas en un Marte geológicamente tranquilo, cuando descubrimos que la superficie de Venus ha sido renovada tan sólo ayer por inundaciones de magma, cuando encontramos un mundo fundido, no por el calor que desprende la desintegración radiactiva, como en la Tierra, sino por las mareas gravitatorias que ejercen mundos cercanos, cuando observamos vulcanismo de azufre en lugar de ser de silicato, y cuando empezamos a preguntarnos, respecto a las lunas de los planetas exteriores, si estamos contemplando vulcanismo de agua, amoniaco, nitrógeno o metano, estamos aprendiendo qué otras posibilidades existen.

CAPÍTULO 13

EL OBSEQUIO DEL APOLO

Las puertas del Cielo están abiertas de par en par; pies para qué os quiero...
CHUANG TZU (atribuido a CHU YUAN),
«Las nueve canciones», canción V,
«El gran señor de las vidas»
(China, aprox. Siglo III a. J.C.)

Corre una bochornosa noche del mes de Julio. Nos hemos quedado dormidos en la butaca. De repente, nos despertamos sobresaltados, desorientados. La tele está encendida, pero no hay sonido. Hacemos un esfuerzo por comprender lo que estamos presenciando. Dos fantasmagóricas figuras blancas, vestidas con ampulosos monos y cascos, bailan suavemente bajo un cielo negro como la noche. Van dando pequeños saltos que los impulsan hacia arriba, levantando nubes de polvo apenas perceptibles. Pero hay algo que no cuadra. Tardan demasiado tiempo en bajar. Sobrecargados como van, parecen volar... un poco. Nos frotamos los ojos, pero la onírica escena persiste.

De todos los acontecimientos que rodearon el aterrizaje del *Apolo 11* en la Luna, el 20 de Julio de 1969, el recuerdo más vivido que conservo es la sensación de irrealidad que lo envolvió. Neil Armstrong y Buzz Aldrin avanzando penosamente por la gris y polvorienta superficie lunar, con la Tierra asomando en grande en aquel cielo, mientras Michael Collins, en ese momento luna de la propia Luna, orbitaba sobre ellos en solitaria vigilia. Cierto, fue una asombrosa hazaña tecnológica y un triunfo para Estados Unidos. Cierto, los astronautas demostraron un coraje realmente admirable.

Y cierto también que, como dijo Armstrong al descender de la nave, era un momento histórico para la especie humana. Pero si uno prescindía del volumen de la retransmisión, que reproducía la conversación entre la base de control de la misión y el Mar de la Tranquilidad —con su charla rutinaria y deliberadamente mundana— y se fijaba únicamente en el monitor en blanco y negro, comprendía que nosotros, los humanos, estábamos penetrando en los dominios del mito y la leyenda.

Conocíamos la Luna desde tiempo inmemorial. Allí estaba cuando nuestros

antepasados descendieron de los árboles hacia la sabana, cuando aprendimos a caminar erguidos, cuando fabricamos las primeras herramientas de piedra, cuando domesticamos el fuego, inventamos la agricultura, construimos ciudades y empezamos a dominar la Tierra. El folclore y las canciones populares celebran una misteriosa conexión entre la Luna y el amor. El primer día de la semana, «Lunes», debe su nombre a dicho astro. El hecho de que crezca y mengüe —de menguante a llena a creciente y a nueva— era ampliamente considerado una metáfora celestial de muerte y renacimiento. Se la relacionaba también con el ciclo de ovulación de las mujeres, que presenta casi el mismo periodo, tal como nos recuerda la palabra «menstruación» (del latín *mensis,* de medir). Los que duermen a la luz de la luna se vuelven locos, dicen; la conexión se conserva en el adjetivo «lunático». En la historia de la Persia antigua preguntan a un visir, conocido por su gran sabiduría, qué es más útil, si el Sol o la Luna. «La Luna —responde él— porque el Sol sale de día, cuando hay luz de todos modos.» Especialmente cuando vivíamos al aire libre, la Luna constituía una presencia mayor —aunque singularmente intangible— en nuestras vidas.

La Luna era una metáfora para lo inalcanzable: «Estás pidiendo la luna», solía decirse. Durante la mayor parte de nuestra historia no teníamos la menor idea de lo que podía ser. ¿Un espíritu? ¿Un dios? ¿Un objeto? No parecía algo grande y alejado, sino más bien algo pequeño y cercano, una cosa del tamaño de un plato, colgado en el cielo encima de nuestras cabezas. Los filósofos de la Grecia antigua debatieron la afirmación de que «la Luna es exactamente tan grande como parece» (poniendo de manifiesto una irremediable confusión entre tamaño lineal y angular). *Caminar* sobre la Luna habría parecido una idea estrafalaria en aquel entonces; tenía más sentido imaginarse uno mismo subiendo al cielo por una escalera o sentado a lomos de un pájaro gigante, cogiendo la Luna y bajándola a la Tierra. Jamás nadie pudo conseguirlo, aunque circulaban infinidad de leyendas sobre héroes que lo habían intentado.

Hasta hace pocos siglos no se impuso de forma definitiva la concepción de la Luna como un *lugar* situado a 385000 kilómetros de distancia. Y en ese insignificante parpadeo temporal hemos dado el salto desde nuestros primeros pasos en la comprensión de la naturaleza de la Luna hasta poner pie y transitar a placer por su superficie. Calculamos cómo se mueven los objetos celestes por el espacio, licuamos el oxígeno del aire, inventamos grandes cohetes, telemetría, electrónica digna de confianza, dirección por inercia y muchas cosas más. Luego salimos a surcar el espacio.

Tuve la suerte de estar implicado en el programa Apolo, pero no culpo a las personas que piensan que todo el asunto fue simulado en un estudio de cine de Hollywood. En el Imperio romano tardío, los filósofos paganos habían atacado la doctrina cristiana que postulaba la ascensión al cielo del cuerpo de Cristo y la promesa de la resurrección de los muertos, basándose en que la fuerza de la gravedad atrae hacia la Tierra a todos los «cuerpos terrestres». San Agustín replicó: «Si la inteligencia humana es capaz de fabricar, mediante alguna invención, navíos

que flotan a partir de metales que se hunden... ¿cómo no iba a resultar mucho más creíble que Dios, utilizando alguna operativa oculta, pueda conseguir que esas masas terrestres se emancipen» de las cadenas que las atan a la Tierra? Pero que los *humanos* llegaran a descubrir un día dicha operativa era algo que trascendía la imaginación. Y sin embargo, ciento cincuenta años más tarde, nos emancipamos.

La proeza suscitó una amalgama de admiración temerosa y preocupación. Algunos se acordaron de la historia de la torre de Babel. Otros, entre ellos los musulmanes ortodoxos, consideraban impudente y sacrílego el hecho de poner pie en la Luna. Muchos saludaron el evento como un punto de inflexión en la historia.

La Luna ya no es inalcanzable. Una docena de seres humanos, todos americanos, han efectuado esos singulares movimientos a saltos, a los que se ha dado en llamar «paseo lunar», sobre la crujiente y antigua lava gris, sembrada de cráteres, empezando precisamente ese día de julio de 1969. No obstante, desde 1972 no ha habido persona de ninguna nación que haya vuelto a pisarla. En realidad, nadie ha ido *a ninguna parte* desde los gloriosos días de la misión Apolo, exceptuando, claro está, la órbita terrestre, algo así como un niño que se aventura a dar sus primeros pasos en solitario, pero vuelve de inmediato, casi sin aliento, a la seguridad de las faldas de su madre.

En otro tiempo nos adentramos en el sistema solar. Durante unos pocos años. Luego nos apresuramos a regresar a casa. ¿Por qué? ¿Qué sucedió? ¿Qué perseguía realmente la misión Apolo?

El alcance y la audacia del mensaje que John F. Kennedy pronunció el 25 de mayo de 1961 en una sesión conjunta del Congreso sobre «Necesidades nacionales urgentes» —el discurso que puso en marcha el programa Apolo— me deslumbra. Íbamos a emplear cohetes todavía por diseñar, aleaciones que aún debían ser concebidas, esquemas de navegación y acoplamiento por planificar, todo para enviar hombres a un mundo desconocido, un mundo que nunca había sido explorado, ni siquiera de forma preliminar, ni tan sólo por robots; íbamos a traerles de vuelta a casa sanos y salvos, y lo íbamos a hacer antes de que finalizara la década. Este confiado pronunciamiento fue efectuado antes de que ningún americano hubiera conseguido ni siquiera surcar la órbita terrestre.

En mi recién estrenada condición de doctor en Filosofía, lo primero que pensé fue que todo aquello tenía que ver fundamentalmente con la ciencia. Pero el presidente no hablaba de descubrir el origen de la Luna, ni tampoco de traer muestras para su posterior estudio. Lo único que parecía interesarle era mandar a alguien allí y traerle luego de regreso a casa. Era una especie de *gesto.* El asesor científico de Kennedy, Jerome Wiesner, me explicó después que había hecho un trato con el presidente: si Kennedy no reivindicaba objetivos científicos para la misión Apolo, entonces él, Wiesner, la apoyaría. Pero, si no estaba relacionada con la ciencia, ¿cuáles eran sus objetivos?

«El programa Apolo es en realidad un asunto político», me explicaron otros. Eso ya sonaba más prometedor. Las naciones no alineadas podían sentirse tentadas de girar en la órbita de la Unión Soviética si ésta se adelantaba en la

carrera espacial, si Estados Unidos demostraba un «vigor nacional» insuficiente. No me cabía en la cabeza. Ahí estaba Estados Unidos de América, por delante de la Unión Soviética virtualmente en todas las áreas tecnológicas —líder mundial económico, militar y, en ocasiones, también moral—, y sin embargo ¿Indonesia iba a adoptar el régimen comunista porque Yuri Gagarin había alcanzado antes que John Glenn la órbita terrestre? ¿Qué es lo que hace de la tecnología espacial algo tan especial? De pronto caí en la cuenta.

Poner personas en órbita alrededor de la Tierra o robots a orbitar el Sol requiere cohetes, cohetes grandes, fiables y potentes. Esos mismos cohetes pueden utilizarse en una guerra nuclear. La misma tecnología que transporta un hombre a la Luna puede transportar cabezas nucleares a medio mundo de distancia. La misma tecnología que coloca en la órbita terrestre a un astrónomo y un telescopio puede lanzar al espacio un «puesto de combate» láser. En aquellos tiempos se oían extravagantes conversaciones en los círculos militares de Oriente y Occidente, que hablaban del espacio como de la nueva «base de operaciones» y sostenían que la nación que «controlara» el espacio «controlaría» la Tierra. Naturalmente, los cohetes estratégicos ya estaban siendo probados en la Tierra. No obstante, lanzar un misil balístico con una estúpida ojiva de combate sobre un objetivo seleccionado en mitad del océano Pacífico no acarrea demasiada gloría, en tanto que enviar personas al espacio consigue cautivar la atención e imaginación del mundo.

No se iba a invertir todo ese dinero en mandar astronautas a la Luna solamente por esa razón, pero de todas las formas existentes para demostrar potencia en tecnología espacial, ésta era la que mejor funcionaba. Se trataba, en suma, de un rito de «hombría» nacional; el tamaño de las lanzaderas hacía este punto suficientemente comprensible, sin necesidad de que nadie hubiera de explicarlo. La comunicación parecía transmitirse de mente inconsciente a mente inconsciente, sin que las facultades mentales más elevadas captaran el más leve soplo de lo que estaba ocurriendo.

En la actualidad, mis colegas —que luchan por cada dólar desembolsado para la ciencia espacial— deben de haber olvidado lo fácil que resultaba, en los gloriosos días del Apolo y en el periodo inmediatamente anterior, conseguir dinero para el «espacio». De entre los muchos ejemplos que se podrían citar, consideremos esta conversación ante el Subcomité de Asignaciones para Defensa de la Cámara de Representantes en 1958, unos pocos meses después de la misión *Sputnik 1.* Testifica el secretario de la Asesoría de la Fuerza Aérea Richard E. Horner; su interlocutor es el representante Daniel J. Flood (demócrata de Pennsylvania):

> HORNER: ¿Por qué es deseable desde el punto de vista militar tener a un hombre en la Luna? En parte, desde el punto de vista clásico, porque existe. En parte también, porque puede que temamos que la URSS se nos adelante y pueda extraer ventajas asociadas que nosotros no habíamos calculado...
>
> FLOOD: Si les concediéramos todo el dinero que ustedes consideraran necesario,

> independientemente de la suma de que se tratase, ¿podría la Fuerza Aérea alcanzar la Luna, digamos, antes de Navidad?
>
> HORNER: Estoy seguro de que podríamos. Este tipo de empresas encierran siempre cierta proporción de riesgo, pero creemos que somos capaces de hacerlo; sí, señor.
>
> FLOOD: ¿Se ha pedido a alguien de la Fuerza Aérea o del Departamento de Defensa que sean otorgados los fondos, el hardware y el personal necesarios para, empezando esta misma medianoche, ir a coger un trozo de esa bola de queso verde para regalárselo a Tío Sam por Navidad? ¿Se ha planteado esa demanda?
>
> HORNER: Hemos sometido un programa de ese tipo a la aprobación de la Oficina del Secretario de Defensa. Actualmente lo están considerando.
>
> FLOOD: Estoy a favor de concedérselo en este mismo minuto, señor presidente, con nuestro beneplácito, sin tener que esperar a que algún pez gordo se decida a pedirlo. Si este hombre habla en serio y sabe lo que está diciendo (que yo creo que lo sabe), entonces este comité no debería esperar ni cinco minutos más. Deberíamos darles todo el dinero, todo el hardware y todo el personal que precisen, sin importar lo que otras personas puedan opinar o querer, y pedirles que se suban a una colina y lo hagan sin contemplaciones.

Cuando el presidente Kennedy formuló el programa Apolo, el Departamento de Defensa tenía en marcha un montón de proyectos relacionados con el espacio, maneras de trasladar personal militar al espacio, formas de transportarlo alrededor de la Tierra y armas robotizadas sobre plataformas orbitales con la finalidad de derribar satélites y misiles balísticos de otras naciones, entre otros. El Apolo suplantó a todos esos programas. Nunca alcanzaron estatus operativo. Podría defenderse el punto de vista de que el Apolo sirvió para otro fin, el de trasladar la carrera espacial entre la URSS y Estados Unidos del ámbito militar al civil. Hay quien opina que Kennedy pensaba en el programa Apolo como sustituto de una carrera armamentística en el espacio. Puede ser.

Para mí, lo más irónico de ese momento de la historia es la placa firmada por el presidente Richard Nixon que se llevó el *Apolo 11* a la Luna. Reza así: «Vinimos en son de paz y en nombre de toda la Humanidad.» Mientras Estados Unidos estaba soltando siete megatones y medio de explosivos convencionales sobre naciones pequeñas del sudeste asiático, nos congratulábamos de nuestra humanidad: no íbamos a hacer daño a nadie sobre esa roca sin vida. La placa sigue todavía allí, fijada a la base del módulo lunar del *Apolo 11,* en medio de la irrespirable desolación del Mar de la Tranquilidad. Si no se interpone nadie, seguirá siendo legible durante un millón de años a partir de ahora.

Seis nuevas misiones siguieron al *Apolo 11 y* todas menos una alunizaron con éxito. El *Apolo 17* fue la primera en incluir a un científico en su tripulación. Pero tan pronto como éste llegó a su destino, el programa fue cancelado. El primer científico y el último ser humano que aterrizaron en la Luna eran la misma persona. El programa ya había cumplido con su misión en aquella noche de julio de 1969.

El programa Apolo no versaba principalmente sobre ciencia. Ni siquiera estaba centrado en el espacio. El Apolo trataba sobre confrontación ideológica y guerra nuclear, a menudo descritos con eufemismos tales como «liderazgo» mundial y «prestigio» nacional. Sin embargo, se avanzó de todos modos en la ciencia espacial. Hoy sabemos mucho más acerca de la composición, edad, así como de la historia de la Luna y del origen de las formas de su superficie. Hemos avanzado en la comprensión relacionada con su procedencia. Algunos de nosotros hemos empleado estadísticas sobre los cráteres lunares para entender mejor la Tierra en el momento del origen de la vida. Pero lo más importante de todo es que el Apolo proporcionó un escudo, un paraguas bajo el cual se enviaron naves robotizadas de brillante ingeniería por todo el sistema solar para que efectuaran un reconocimiento preliminar de docenas de mundos. La descendencia del Apolo ha alcanzado hoy las fronteras planetarias. De no haber sido por la misión Apolo —y, en consecuencia, de no haber sido por el propósito político al cual sirvió— tengo mis dudas acerca de si realmente se habrían llevado a cabo las históricas expediciones americanas de exploración y descubrimiento en el sistema solar. Los *Mariner, Viking, Pioneer, Voyager* y *Galilea* se cuentan entre los obsequios que nos ha traído el programa Apolo.

Magallanes y *Cassini* quedan ya más distantes en la línea de descendencia. Algo similar puede aplicarse a los pioneros esfuerzos soviéticos en pos de la exploración del sistema solar, incluyendo los primeros aterrizajes blandos de naves robotizadas —*Luna 9, Mars 3, Venera 8*— en otros mundos.

Apolo transmitió una confianza, energía y amplitud de miras que cautivaron de verdad la imaginación del mundo. Esa constituía de hecho una parte de sus objetivos. Inspiraba optimismo en relación con la tecnología y entusiasmo de cara al futuro. Si podíamos volar a la Luna como tantos exigían, ¿qué más éramos capaces de hacer? Incluso los detractores de las políticas y actuaciones de Estados Unidos —incluso los que pensaban lo peor de nosotros— reconocieron el genio y el heroísmo del programa Apolo. Gracias a él, Estados Unidos rozó la grandeza.

Cuando hacemos las maletas para un viaje largo, nunca sabemos lo que nos espera. Los astronautas del *Apolo* fotografiaron su planeta, la Tierra, en su camino de ida y vuelta a la Luna. Era lógico, pero tuvo consecuencias que muy pocos habían previsto. Por primera vez, los habitantes de la Tierra tenían la oportunidad de ver su mundo desde arriba, la Tierra entera, la Tierra en colores, la Tierra como una hermosa bola giratoria, blanca y azul, colocada contra la amplia oscuridad del espacio. Dichas imágenes contribuyeron a despertar nuestra adormecida conciencia planetaria. Y proporcionan una evidencia incontestable de que todos compartimos el mismo planeta vulnerable. Nos recuerdan lo que es importante y lo que no lo es. Son precursoras del punto azul pálido del *Voyager.*

Puede que hayamos dado con esa perspectiva justo a tiempo, precisamente cuando nuestra tecnología está amenazando la habitabilidad de nuestro planeta. Fuera cual fuera la razón que puso en marcha el programa Apolo y con independencia de lo comprometido que se hallara con el nacionalismo de la guerra

fría y con los instrumentos de la muerte, el ineludible reconocimiento de la unidad y fragilidad de la Tierra constituye su claro y luminoso dividendo, el inesperado regalo final del Apolo. Lo que empezó en mortífera competencia nos ha ayudado a comprender que la cooperación global es una condición esencial para nuestra supervivencia.

Viajar resulta instructivo.

Ha llegado la hora de hacer de nuevo las maletas.

Un ser humano orbitando la Tierra contempla el planeta que constituye su hogar con su «delgado estrato de luz azul marino»: el astronauta Bruce McCandless en su unidad de maniobra tripulada (MMU), en febrero de 1984. Fotografía tomada desde el transbordador espacial *Challenger*, cedida por Johnson Space Center/NASA.

CAPÍTULO 14

EXPLORAR OTROS MUNDOS Y PROTEGER EL NUESTRO

Los planetas, en sus distintas fases de desarrollo, se hallan sujetos a las mismas fuerzas formativas que operan en nuestra Tierra y presentan, por ello, la misma formación geológica, y probablemente la misma vida, de nuestro propio pasado y quizá futuro; pero más allá de dichas consideraciones, estas fuerzas están actuando, en algunos casos, bajo condiciones totalmente diferentes de las que imperan en la Tierra y, en consecuencia, deberán evolucionar hacia formas distintas de las conocidas hasta ahora por el hombre. El valor de un material como ése para las ciencias comparativas es demasiado obvio como para requerir discusión alguna.

ROBERT H. GODDARD
(1907)

Por primera vez en mi vida contemplé el horizonte en forma de línea curva. Este se veía acentuado por una delgada franja de luz azul marino, nuestra atmósfera. Obviamente, no se trataba del océano de aire del que tantas veces había oído hablar en la vida. Me aterrorizó su frágil apariencia.

ULE MERBOLD, astronauta alemán del transbordador espacial
(1988)

Cuando contemplamos la Tierra desde altitudes orbitales, vemos un mundo frágil y hermoso encastrado en negro vacío. Pero observar una porción de la Tierra a través de la portilla de una nave espacial nada tiene que ver con la sensación de verla entera contra el fondo negro o —mejor aún— avanzando a través de nuestro campo visual, mientras flotamos en el espacio fuera de la nave espacial. El primer ser humano que efectuó dicha experiencia fue Alexei Leonov, quien el 18 de marzo de 1965 salió del *Voskhod 2* a dar un original «paseo» espacial: «Miré hacia abajo, a la Tierra —recuerda— y el primer pensamiento que cruzó por mi mente fue: "Después de todo, el mundo *es* redondo." En una sola ojeada podía ver desde Gibraltar hasta el mar Caspio... Me sentí como un pájaro, provisto de alas, capaz de volar.»

Cuando se contempla la Tierra desde más lejos, como hicieron los astronautas del *Apolo,* su tamaño aparente parece contraerse hasta que no queda nada más que un poco de geografía. Impresiona ver lo silenciosa que es. Ocasionalmente salta un

átomo de hidrógeno; llega un suave golpeteo de polvo cometario. La luz solar generada por el inmenso y silencioso motor de las profundidades del interior solar se derrama en todas direcciones, y la Tierra intercepta bastante cantidad como para asegurarse un poco de iluminación y el calor suficiente para nuestros modestos propósitos. Aparte de eso, ese pequeño mundo se encuentra completamente solo.

Desde la superficie de la Luna se puede ver, quizá en fase creciente, sin poder ni siquiera distinguir sus continentes. Y desde cualquier posición del planeta más exterior es un mero punto de pálida luz.

Desde la órbita terrestre nos sorprende el delicado arco azul del horizonte; es la delgada atmósfera de la Tierra, vista tangencialmente. Así resulta más que comprensible que no exista un problema medioambiental local. Las moléculas son tontas. Los venenos industriales, los gases de invernadero y las sustancias que atacan la capa protectora de ozono, dada su abismal ignorancia, no respetan fronteras. Se olvidan de la noción de la soberanía nacional. Y así, a causa de los casi míticos poderes de nuestra tecnología (y de la prevalencia del pensamiento a corto plazo), estamos empezando —a escala continental y planetaria— a representar un peligro para nosotros mismos. Evidentemente, si se pretende resolver esos problemas, ello requerirá que muchas naciones actúen coordinadas durante muchos años.

Me asombra una vez más la ironía que entraña el hecho de que los vuelos espaciales —concebidos en el caldero de las rivalidades y odios nacionalistas— traigan consigo una sorprendente visión transnacional. Basta con contemplar un ratito la Tierra desde su órbita para que los nacionalismos más fuertemente arraigados comiencen a erosionarse. Parecen ácaros disputándose una migaja.

Si permanecemos anclados en un mundo, quedamos limitados a un único caso; no podemos saber qué otras posibilidades existen. En ese caso —al igual que un amante del arte que sólo conoce las pinturas funerarias de Fayum, un dentista que sólo sabe de molares, un filósofo que sólo ha estudiado el neoplatonismo, un lingüista que sólo habla chino o un físico cuyo conocimiento de la gravedad se restringe a los cuerpos que caen sobre la Tierra—, nuestra perspectiva es reducida, nuestras miras estrechas y nuestra capacidad de predicción totalmente limitada. Por el contrario, cuando exploramos otros mundos, lo que en su momento nos pareció la única forma posible de entender un planeta resulta encontrarse en algún punto intermedio de un amplio espectro de posibilidades. Al examinar esos otros mundos vamos comprendiendo lo que ocurre cuando hay algo en exceso o una cantidad insuficiente de otra cosa. Aprendemos cómo puede estropearse un planeta. La comprensión adquiere una nueva dimensión, prevista ya por el pionero de los vuelos espaciales Robert Goddard, denominada planetología comparativa.

La exploración de otros mundos nos ha abierto los ojos en el estudio de los volcanes, terremotos, así como de la climatología. Algún día puede tener también profundas implicaciones para la biología, porque toda la vida existente sobre la faz de la Tierra está construida según un plan maestro común en el ámbito de la

bioquímica. El hallazgo de un solo organismo extraterrestre —aunque fuera algo tan humilde como una bacteria— revolucionaría nuestra comprensión del mundo de los seres vivos.

Pero la conexión entre la exploración de otros mundos y la protección del nuestro se hace más evidente en el estudio de la climatología de la Tierra y en el brote amenazador para la misma que ha sembrado hoy nuestra tecnología. Otros mundos nos proporcionan informaciones cruciales sobre las estupideces que no debemos cometer en la Tierra.

Recientemente se han descubierto tres potenciales catástrofes ambientales, todas ellas con efectos a escala global: la reducción de la capa de ozono, el calentamiento fruto del efecto invernadero y el invierno nuclear. Y resulta que los tres hallazgos se hallan íntimamente relacionados con la exploración planetaria:

1) Fue inquietante llegar a la conclusión de que un material inerte con todo tipo de aplicaciones prácticas —se utiliza como fluido activo en frigoríficos y aparatos de aire acondicionado, como propelente en aerosoles de desodorantes y otros productos, en los ligeros embalajes de espuma de las comidas rápidas y como agente limpiador en microelectrónica, por nombrar solamente algunos de sus usos— puede poner en peligro la vida en la Tierra. ¿Quién iba a imaginarse una cosa así?

Las moléculas en cuestión se denominan clorofluorocarbonos (CFC). Químicamente son extremadamente inactivas, lo que significa que son del todo invulnerables, hasta que alcanzan la capa de ozono, donde son descompuestas por la luz ultravioleta del Sol. Los átomos de clorina así liberados atacan y destruyen el ozono protector, facilitando la penetración hasta el suelo de dicha luz. El incremento de la intensidad ultravioleta propicia una terrible procesión de potenciales consecuencias nocivas que no solamente se manifiestan en enfermedades como los cánceres de piel y las cataratas, sino también en el debilitamiento del sistema inmunitario humano y, la más peligrosa de todas, en el perjuicio a la agricultura y a los organismos fotosintéticos, que constituyen la base de la cadena alimentaria de la cual depende, en gran medida, la vida en la Tierra.

¿Quién descubrió que los CFC suponían una amenaza para la capa de ozono? ¿Acaso fue su principal productor, la DuPont Corporation, ejerciendo responsabilidades corporativas? ¿Fue la Agencia de Protección del Medio Ambiente en un afán de salvaguardarnos? No, fueron dos científicos universitarios de bata blanca, enclaustrados en sus torres de marfil, que estaban trabajando en otra cosa: Sherwood Rowland y Mario Molina, de la Universidad de California, Irvine. Ni siquiera se trataba de una universidad de la Ivy League[*].

Nadie les dio instrucciones para que investigaran acerca de los peligros para el medio ambiente. Estaban enfrascados en investigaciones de base. Eran científicos dedicados a sus intereses particulares. Sus nombres deberían aprenderse en las escuelas.

---

[*] Grupo de universidades en el noroeste de Estados Unidos, famosas por su prestigio académico y social. *(Nota de la traductora.)*

En sus cálculos originales, Rowland y Molina emplearon constantes tipos de las reacciones químicas en las que participa la clorina y otros halógenos, que habían sido medidas en parte con apoyo de la NASA. ¿Por qué de la NASA? Porque la atmósfera de Venus contiene moléculas de clorina y fluorina, y los aerónomos planetarios se proponían investigar lo que está sucediendo allí.

La confirmación del trabajo teórico sobre la responsabilidad de los CFC en la reducción de la capa de ozono no tardó en producirse, de la mano de un grupo de investigación de Harvard capitaneado por Michael McElroy. ¿Y cómo se explica que tuvieran todas esas redes ramificadas de dinámicas químicas de los halógenos preparadas en sus ordenadores? Porque estaban trabajando en los procesos químicos de la clorina y la fluorina en la atmósfera de Venus. Venus contribuyó a efectuar y confirmar el descubrimiento de que la capa de ozono que protege a la Tierra se encuentra en peligro. Se detectó una conexión completamente inesperada entre los procesos fotoquímicos de ambos planetas. Un resultado de tan crucial importancia para todos los habitantes de la Tierra se derivó de lo que podía parecer el más abstracto y poco práctico de los trabajos, la comprensión de la química de constituyentes menores en la atmósfera superior de otro mundo.

También existe una conexión con Marte. A través del *Viking* descubrimos que la superficie de Marte carecía aparentemente de vida y presentaba una notable deficiencia incluso en moléculas orgánicas simples. Pero *tenía* que haber moléculas orgánicas simples, a raíz de los impactos de meteoritos orgánicamente ricos procedentes del cercano cinturón de asteroides. Esta carencia se atribuye unánimemente a la ausencia de ozono en Marte. Los experimentos microbiológicos del *Viking* determinaron que la materia orgánica transportada a Marte desde la Tierra y diseminada sobre el polvo de la superficie marciana se oxida y destruye rápidamente. Los materiales en el polvo que desencadenan esa destrucción son moléculas parecidas al peróxido de hidrógeno, que nosotros empleamos como antiséptico porque mata a los microbios a base de oxidarlos. La luz ultravioleta del Sol alcanza la superficie de Marte sin topar con el obstáculo de una capa de ozono; si hubiera algo de materia orgánica, sería rápidamente aniquilada por la luz ultravioleta en sí y por sus productos de oxidación. Por tanto, parte de los motivos de que las capas superiores del suelo marciano sean antisépticas reside en que Marte posee un agujero, en lo que al ozono se refiere, de dimensiones planetarias, un dato altamente útil y amonestador para nosotros, que trabajosamente estamos reduciendo y perforando *nuestra* capa de ozono.

2) Se ha vaticinado que un calentamiento global del planeta se derivaría del creciente efecto invernadero, causado en gran medida por el anhídrido carbónico generado a raíz de la quema de combustibles fósiles, pero también por la acumulación progresiva de otros gases absorbentes del infrarrojo (óxidos de nitrógeno, metano, los mismos CFC y otras moléculas).

Supongamos que disponemos de un modelo computerizado de circulación general tridimensional sobre el clima de la Tierra. Los programadores sostienen que es capaz de predecir cómo será la Tierra si aumenta la cantidad de uno de los

componentes atmosféricos o si disminuye la de otro. El modelo funciona muy bien en la «predicción» del clima actual. Pero existe una preocupación latente: este modelo ha sido «afinado» para que salga bien, esto es, determinados parámetros ajustables son elegidos no a partir de principios primarios de la física, sino con el objetivo de obtener la respuesta correcta. No significa eso que hagamos trampa, pero si aplicamos el mismo modelo a regímenes climáticos bastante distintos —el del profundo calentamiento global, por ejemplo— el afinamiento podría resultar entonces inapropiado. El modelo podría ser adecuado para el clima de hoy, pero no extrapolable a otros.

Una forma de probar este programa consiste en aplicarlo a los climas tan diferentes de otros planetas. ¿Es capaz de predecir la estructura de la atmósfera en Marte y el clima de dicho planeta? ¿El tiempo que hace allí? ¿Y el de Venus? Si fallara en esos casos tendríamos razones para desconfiar de él cuando efectúa predicciones para nuestro propio planeta. De hecho, los modelos climáticos que se emplean en la actualidad son muy fiables en sus predicciones de los climas de Venus y Marte, basadas en principios primarios de la física.

En la Tierra se conocen enormes emanaciones de lava fundida que son atribuidas a gigantescos volcanes que ascienden desde las profundidades del manto y generan amplias placas de basalto petrificado. Un ejemplo espectacular tuvo lugar alrededor de cien millones de años atrás y virtió a la atmósfera unas diez veces su contenido actual de anhídrido carbónico, induciendo un sustancial calentamiento global. Se cree que estas emanaciones se han venido produciendo de forma episódica a lo largo de la historia de la Tierra. Ascensiones similares del manto parecen haberse dado en Marte y en Venus. Tenemos pues sólidas razones prácticas para estar interesados en comprender cómo podría llegarnos, repentinamente y sin aviso, procedente de cientos de kilómetros bajo nuestros pies, un importantísimo cambio para la superficie y el clima de la Tierra.

Una parte del trabajo más significativo efectuado recientemente en relación con el calentamiento global del planeta ha sido llevado a cabo por James Hansen y sus colegas del Instituto Goddard de Ciencias Espaciales, una instalación de la NASA en la ciudad de Nueva York. Hansen desarrolló uno de los principales modelos climáticos computerizados y lo empleó para predecir lo que podría sucederle a nuestro clima si prosigue la acumulación de gases de invernadero. Este científico es pionero en probar estos modelos con climas de la Tierra en tiempos pasados. (Es interesante constatar que, durante los últimos periodos glaciales, una mayor cantidad de anhídrido carbónico y metano aparecen sorprendentemente relacionados con temperaturas más elevadas.) Hansen recogió una amplia gama de datos climáticos del presente siglo y del pasado, a fin de comprobar lo que ha ocurrido realmente con la temperatura global, y luego los comparó con las predicciones del modelo computerizado acerca de lo que *debía* haber sucedido. Ambas series coinciden dentro del margen de error de medida y cálculo, respectivamente. Valerosamente, Hansen testificó ante el Congreso, haciendo frente a una orden política procedente de la Oficina de Dirección y Presupuestos

de la Casa Blanca (eso fue en los años de Reagan) en el sentido de exagerar las incertidumbres y minimizar los peligros. Sus cálculos sobre la explosión del volcán filipino Pinatubo y su predicción del consiguiente descenso transitorio de la temperatura terrestre (alrededor de medio grado) dieron en el clavo. El ha sido un peso pesado a la hora de convencer a los gobiernos mundiales del hecho de que el calentamiento global es algo digno de ser tomado muy en serio.

Pero ¿cómo fue que Hansen se interesara prioritariamente por el efecto invernadero? Su tesis doctoral (que leyó en la Universidad de Iowa en 1967) versaba sobre Venus. Se mostró de acuerdo en que la elevada temperatura de brillo de Venus es debida a la presencia de una superficie muy caliente, pero sugirió que la principal fuente de energía era el calor interior del planeta, más que la luz solar. La misión del *Pioneer 12* con destino a Venus lanzó sondas de descenso a la atmósfera y éstas demostraron de forma directa que el efecto invernadero ordinario —la superficie calentada por el Sol y el calor retenido por la manta de aire— constituía la causa operativa. Pero fue Venus lo que impulsó a Hansen a pensar en el efecto invernadero.

Hay que mencionar que los radioastrónomos consideran a Venus una prolífica fuente de ondas de radio. No obstante, otras explicaciones para las emisiones de radio fallan. Ello induce a concluir que la superficie de Venus debe de estar grotescamente caliente. Intentamos comprender de dónde proceden tan elevadas temperaturas y ello nos conduce inexorablemente a uno u otro tipo de efecto invernadero. Décadas más tarde nos damos cuenta de que ese entrenamiento nos ha preparado para comprender y ha contribuido a predecir una inesperada amenaza para nuestra civilización global. Conozco muchas otras instancias en que científicos que investigaban las atmósferas de otros mundos están realizando importantes y muy prácticos descubrimientos en relación con el nuestro. Los demás planetas proporcionan un soberbio campo de ensayo para los estudiosos de la Tierra, puesto que requieren una notable amplitud y riqueza de conocimientos, y ponen a prueba la imaginación.

Aquellos que se muestran escépticos acerca del calentamiento derivado del efecto invernadero por anhídrido carbónico harían bien en fijarse en el masivo efecto invernadero observable sobre el planeta Venus. Nadie ha sugerido que dicho efecto se derive de la imprudencia de los venusianos al quemar demasiado carbón, conducir coches alimentados por combustibles ineficaces o dedicarse a deforestar sus bosques. Mi punto de vista es distinto. La historia climatológica de nuestro vecino planetario, un planeta por lo demás similar a la Tierra cuya superficie se volvió lo suficientemente caliente como para fundir estaño o plomo, vale la pena ser tenida en cuenta, especialmente por los que afirman que el creciente efecto invernadero que afecta a la Tierra se irá corrigiendo por sí solo, que no es necesario que nos preocupemos por ello, o (y eso podemos leerlo en las publicaciones de algunos grupos que se autodenominan conservadores) que el efecto invernadero en sí no es más que una «patraña».

3) El invierno nuclear es el oscurecimiento y enfriamiento de la Tierra —

principalmente a causa de la inyección en la atmósfera de finas partículas de humo como consecuencia de la quema de ciudades y de instalaciones petrolíferas— que, según las predicciones, se derivaría de una confrontación termonuclear global. La cuestión suscitó un acalorado debate científico, centrado en la gravedad que podía llegar a revestir el invierno nuclear. Aquí es total la convergencia de opiniones. Todos los modelos computerizados de circulación general tridimensional predicen que las temperaturas globales resultantes de una guerra termonuclear a escala mundial serían más frías que las de los tiempos glaciales del pleistoceno. Las implicaciones para nuestra civilización planetaria —en especial a causa del colapso de la agricultura— serían espantosas. Se trata de una consecuencia de la confrontación nuclear que, de algún modo, fue pasada por alto por las autoridades civiles y militares de Estados Unidos, la Unión Soviética, Gran Bretaña, Francia y China cuando decidieron acumular una cantidad sensiblemente superior a las sesenta mil armas nucleares. Si bien es difícil estar seguros de cosas de este estilo, podría afirmarse que el invierno nuclear jugó un papel constructivo (aunque, naturalmente, hubo otras causas) a la hora de convencer a las naciones que poseen armamento nuclear, especialmente a la Unión Soviética, de la inutilidad de una guerra nuclear.

El invierno nuclear fue calculado y nombrado en 1982-1983 por un grupo de cinco científicos, al cual tengo el orgullo de pertenecer. Se dio a dicho equipo el acrónimo de TTAPS (por Richard P. Turco, Owen B. Toon, Thomas Ackerman, James Pollack y yo mismo). De los cinco científicos miembros de TTAPS, dos eran científicos planetarios, y los otros tres habían publicado numerosos informes sobre ciencia planetaria. El primer indicio relacionado con el invierno nuclear surgió durante esa misma misión a Marte del *Mariner 9,* cuando hubo una tormenta global de polvo que nos impidió ver la superficie del planeta; el espectrómetro infrarrojo de la nave determinó que la temperatura en las capas altas de la atmósfera era más elevada y la de la superficie más baja de lo que deberían. Jim Pollack y yo nos sentamos para tratar de calcular cómo era eso posible. En el transcurso de los doce años siguientes, esta línea de investigación condujo desde las tormentas de polvo en Marte hasta los aerosoles volcánicos en la Tierra, pasando por la posible extinción de los dinosaurios por polvo de impacto y el invierno nuclear. Nunca se sabe adonde va a llevarnos la ciencia.

La ciencia planetaria fomenta un amplio punto de vista interdisciplinario que se revela enormemente útil para descubrir y tratar de atenuar las catástrofes naturales que van surgiendo. Cuando uno «hinca el diente» a otros planetas gana perspectiva acerca de la fragilidad sus entornos medioambientales, así como sobre qué otros entornos, muy diferentes, son posibles. Es probable que todavía nos queden potenciales catástrofes globales por descubrir. Si las hay, apuesto cualquier cosa a que los científicos planetarios desempeñarán un papel fundamental en lo que se refiere a su comprensión.

De todos los campos de la matemática, la tecnología y la ciencia, el ámbito que implica una mayor cooperación internacional (como prueba la frecuencia con que

los coautores de trabajos de investigación proceden de dos o más países distintos) es el denominado «la Tierra y las ciencias del espacio». Por su misma naturaleza, el estudio de este mundo y otros tiende a no ser localista, ni nacionalista, ni chauvinista. Es raro, no obstante, que la gente se dedique a este campo por ser internacionalista. Casi siempre se penetra en él por otras razones y, posteriormente, se cae en la cuenta de que científicos de otras naciones están desarrollando un trabajo espléndido, trabajo que, además, se complementa con el nuestro; o bien se da el caso de que tenemos que solucionar algún problema, necesitamos datos o quizá una perspectiva (acceso a la porción sur del cielo, por ejemplo) que no se halla disponible en nuestro país. Una vez experimentado ese grado de cooperación —personas de diferentes partes del planeta, trabajando temas de interés común en estrecha colaboración, empleando un lenguaje científico inteligible para todos— se hace difícil no imaginar su aplicación a otros problemas ajenos al ámbito científico. Personalmente considero que este aspecto del estudio de las ciencias del espacio y de la Tierra nos brinda una fuerza saludable y unificadora para la política mundial. Beneficioso o no, resulta de todo punto ineludible.

Cuando contemplo esa evidencia, me da la sensación de que la exploración planetaria se halla entre las utilidades más prácticas y urgentes para nosotros aquí en la Tierra. Aunque no nos estimulara la perspectiva de explorar otros mundos, aunque no tuviéramos ni un nanogramo de espíritu aventurero, incluso si sólo nos preocupáramos de nosotros mismos en el sentido más estricto, la exploración planetaria seguiría siendo una soberbia inversión.

La región de Oxia Palus en Marte, entre el ecuador y la latitud 25° al norte. El lugar de aterrizaje del *Viking 1,* en Crise Planitia, aparece arriba a la izquierda. Grandes inundaciones dividieron este terreno miles de millones de años atrás. Pero la escasez de ríos tributarios en los valles fluviales apunta a que el agua emergió del subsuelo, en lugar de caer de los cielos en forma de lluvia. Se había previsto inicialmente que el *Viking 1* aterrizara en la confluencia de dichos canales fluviales, pero intervinieron razones de seguridad. Se desconoce la razón por la cual el clima de Marte se halla hoy tan lejos del ambiente más cálido y húmedo que, según las deducciones, reinó en el planeta hace cuatro mil millones de años. Abajo, a la derecha, se ve un cráter que ha tomado su nombre del astrónomo Galileo. Mapa en relieve sombreado de USGS.

CAPÍTULO 15

EL MUNDO DE LAS MARAVILLAS ABRE SUS PUERTAS

Se abrieron de par en par las grandes compuertas del mundo de las maravillas.
HERMAN MELVILLE, *Moby Dick*, cap. 1
(1851)

Algún día, quizá justo a la vuelta de la esquina, habrá una nación —o, más probablemente, un consorcio de naciones— que dará el próximo paso importante en la aventura humana del espacio. Tal vez se consiga rodeando burocracias y llevando a cabo un uso eficaz de las actuales tecnologías. Tal vez sean necesarias tecnologías nuevas, que trasciendan el gran trabucazo de los cohetes químicos. Las tripulaciones de dichas naves pisarán nuevos mundos. El primer bebé nacerá en algún lugar ahí arriba. Se efectuarán los primeros pasos para vivir fuera de tierra firme. Estaremos en camino. Y el futuro lo recordará.

Majestuoso y provocador, Marte es nuestro vecino, el planeta más cercano sobre el cual puede aterrizar de forma segura un astronauta o cosmonauta. Aunque a veces hace tanto calor como en octubre en Nueva Inglaterra, Marte es un lugar frío, tan frío que una parte de su delgada atmósfera de anhídrido carbónico se congela como hielo seco en el polo invernal.

Se trata del planeta más cercano cuya superficie podemos observar con un telescopio pequeño. Es el planeta más parecido a la Tierra de todo el sistema solar. Dejando aparte los encuentros exteriores, solamente ha habido dos misiones a Marte coronadas por el éxito: la del *Mariner* 9 en 1971 y los *Vikings* 7 y 2 en 1976. Estas revelaron la existencia de un profundo valle que cubriría la distancia entre Nueva York y San Francisco; inmensas montañas volcánicas, la mayor de las cuales se eleva 24 000 metros por encima de la altitud media de la superficie de Marte, casi tres veces la altura del Everest; una intrincada estructura de capas en los hielos polares, que parece una pila de fichas de póquer desechadas y que constituye, probablemente, un registro de pasados cambios climáticos; rayas brillantes y oscuras, pintadas sobre la superficie por el polvo arrastrado por el viento, que proporcionan mapas de los vientos de gran velocidad sobre Marte durante las décadas y siglos pasados; tormentas de polvo que abrazan todo el planeta y enigmáticos rasgos superficiales.

Cientos de tortuosos canales y valles, con una antigüedad de varios miles de

millones de años, se extienden por la superficie de Marte, principalmente en las mesetas salpicadas de cráteres del sur. Estos nos inducen a pensar en una época anterior, de condiciones más benignas y parecidas a las de la Tierra, muy distinta de la que se constata bajo la enrarecida y frígida atmósfera actual. Algunos antiguos canales parecen excavados por la lluvia, otros por el derrumbamiento y colapso subterráneos, y otros por grandes corrientes que emergieron del suelo. Caudalosos ríos inundaban grandes cuencas de impacto de miles de kilómetros de diámetro, que hoy aparecen tan secas como el polvo. El agua caía en cascadas, que dejarían pequeño el salto de agua más importante de la Tierra, sobre los lagos del antiguo Marte. Vastos océanos de cientos de metros o incluso de un kilómetro de profundidad pueden haber bañado unas orillas hoy apenas discernibles. *Ése* sí habría sido un mundo para explorar. Hemos llegado cuatro mil millones de años tarde.

En la Tierra, entretanto, en ese mismo periodo, estaban surgiendo y evolucionando los primeros microorganismos. La vida en la Tierra se halla íntimamente conectada, por las más básicas razones químicas, con el agua líquida. Nosotros los seres humanos, sin ir más lejos, estamos *hechos* de tres cuartas partes de agua. El mismo tipo de moléculas orgánicas que cayeron del cielo y fueron generadas en el aire y los mares de la Tierra primitiva deberían haberse acumulado también sobre el Marte primitivo. ¿Resulta plausible pensar que la vida surgiera con rapidez en las aguas de la Tierra primigenia, pero quedara de algún modo restringida e inhibida en las aguas del Marte primitivo? ¿O bien es posible que los mares marcianos estuvieran rebosantes de vida, flotando, desarrollándose abundantemente y evolucionando? ¿Qué extrañas bestias nadaron en esas aguas en un pasado remoto?

Sucediera lo que sucediera en esos lejanos días, lo cierto es que todo empezó a torcerse alrededor de 3 800 millones de años atrás. Se ha comprobado que la erosión de los antiguos cráteres disminuyó drásticamente a partir de ese momento. Cuando la atmósfera empezó a aligerarse, los ríos dejaron de fluir, los océanos se fueron secando y las temperaturas cayeron, la vida hubo de retirarse a los pocos hábitats compatibles que le quedaban, amontonándose quizá en el fondo de los lagos cubiertos de hielo hasta que también éstos se solidificaron y los restos de cadáveres y fósiles de exóticos organismos —construidos tal vez mediante principios muy diferentes de los que rigen la vida en la Tierra— se congelaron, aguardando a los exploradores que, en un futuro distante, podrían llegar a Marte.

Los meteoritos son fragmentos de otros mundos que han sido recuperados en la Tierra. Muchos se originan en colisiones entre los numerosos asteroides que orbitan al Sol, entre las órbitas de Marte y Júpiter. No obstante, algunos pocos son generados cuando un gran meteorito sufre un impacto con un planeta o asteroide a gran velocidad, excava un cráter e impulsa el material excavado hacia el espacio. Millones de años después, puede que una fracción muy pequeña de las rocas eyectadas intercepte otro mundo.

En los páramos de la Antártida, el hielo aparece de vez en cuando salpicado de meteoritos, preservados por las bajas temperaturas y, hasta hace poco tiempo, ni siquiera descubiertos por los humanos. Unos pocos de entre los mismos, denominados meteoritos SNC* (pronunciado «snick»), presentan una característica que en un principio parecía increíble: en el interior de sus estructuras minerales y cristalinas, a resguardo de la contaminante influencia de la atmósfera de la Tierra, aparece atrapada una pequeña cantidad de gas.

Al analizar ese gas se descubre que éste presenta exactamente la misma composición química y proporciones isotópicas que el aire en Marte. Poseemos datos del aire marciano no solamente a partir de la inferencia espectroscópica, sino también a través de mediciones directas realizadas desde la superficie de Marte por los vehículos de aterrizaje del *Viking*. Para sorpresa de casi todo el mundo, los meteoritos SNC proceden de Marte.

Originalmente, eran rocas que se habían fundido y resolidificado. El fechado radiactivo de todos los meteoritos SNC demuestra que las rocas a partir de las cuales se formaron eran condensaciones de lava de entre 180 millones y 1300 millones de años de antigüedad. Posteriormente fueron expulsados del planeta por colisiones procedentes del espacio. A partir del tiempo que estuvieron expuestos a los rayos cósmicos, en sus viajes interplanetarios entre Marte y la Tierra, podemos deducir su edad y cuánto tiempo hace que fueron eyectados de Marte. En este sentido, su edad se sitúa entre los diez millones y los setecientos mil años. Ofrecen, pues, una muestra de un 0,1 % de la historia reciente de dicho planeta.

Algunos de los minerales que contienen esos meteoritos demuestran claramente que alguna vez estuvieron sumergidos en agua, en agua líquida caliente. Estos minerales hidrotermales revelan que, de alguna manera, hubo recientemente agua líquida, probablemente por todo el planeta. Puede que se originara al fundirse hielos subterráneos a causa del calor interior. Fuera cual fuera la causa de su existencia, es lógico preguntarse si cabe la posibilidad de que la vida sobre Marte todavía no se haya extinguido del todo, si de algún modo ha conseguido conservarse hasta nuestros días en lagos subterráneos pasajeros o, incluso, en delgadas películas de agua que pudieran humedecer ciertas franjas subterráneas.

Los geoquímicos Everett Gibson y Hal Karlsson, del Johnson Space Flight Center de la NASA, han extraído una única gota de agua de uno de los meteoritos SNC. Las proporciones isotópicas de los átomos de oxígeno e hidrógeno que contiene no son en modo alguno terrestres. Contemplo este agua de otro mundo como un estímulo para futuros exploradores y colonizadores.

Imaginemos lo que podríamos encontrar si trajéramos a la Tierra gran número de muestras, incluyendo suelo jamás fundido y rocas tomadas en localidades marcianas especialmente seleccionadas por su interés científico. Nos encontramos muy cerca de poder llevarlo a cabo, empleando pequeños vehículos robotizados.

El transporte de material subterráneo de un mundo a otro plantea una cuestión interesante: cuatro mil millones de años atrás había dos planetas vecinos, ambos

* Abreviación para Shergotty-Nakhla-Chassigny. Parece obvio por qué se utiliza el acrónimo.

cálidos y húmedos. En las últimas fases de la acreción de dichos planetas, los impactos del espacio se producían a un ritmo mucho mayor que en la actualidad. Muestras de cada uno de esos mundos eran lanzadas al espacio. Estamos seguros de que, en ese periodo, había vida al menos en uno de ellos. Sabemos que una porción de los escombros eyectados no se calienta durante los procesos de impacto, eyección y recepción por parte de otro mundo. Así pues, ¿pudieron algunos de los organismos terrestres ser trasplantados a Marte por ese procedimiento cuatro mil millones de años atrás, iniciando la vida en dicho planeta? O, especulando más todavía, ¿es posible que la vida en la Tierra surgiera a partir de una transferencia de este tipo procedente de Marte? ¿Cabe la posibilidad de que ambos planetas intercambiaran regularmente formas de vida durante cientos de millones de años? Son tesis que podrían ser comprobadas. Si descubriéramos vida en Marte y ésta se revelara muy parecida a la vida en la Tierra —y si, además, estuviéramos seguros de que no se trata de una contaminación microbiana que nosotros mismos hubiéramos introducido en el curso de nuestras exploraciones—, la hipótesis de que la vida fue transferida, en un pasado remoto, a través del espacio interplanetario debería ser tomada en serio.

Hubo una época en que se pensaba que el Marte contemporáneo rebosaba vida. Incluso el severo y escéptico astrónomo Simón Newcomb (en su *Astronomy for everybody* —«Astronomía para todos»—, del que se efectuaron numerosas ediciones en las primeras décadas del presente siglo, y constituyó el libro de astronomía de mi infancia) concluía: «Parece que hay vida sobre el planeta Marte. Hace algunos años esta afirmación era unánimemente considerada un mero producto de la fantasía. Hoy es ampliamente aceptada.» No «vida humana inteligente», se apresuraba a añadir, sino plantas verdes. Sin embargo, hoy hemos visitado Marte y hemos buscado plantas, al igual que animales, microbios y seres inteligentes. Aunque las formas restantes no se encontraran, sería lógico imaginar que, tal como sucede hoy en los desiertos terrestres, y como ha ocurrido en la Tierra prácticamente durante toda su historia, íbamos a detectar abundante vida microbiana.

Los experimentos de «detección de vida» del *Viking* fueron diseñados para registrar únicamente unos determinados subconjuntos de biologías concebibles; fueron predispuestos para hallar el tipo de vida de la cual tenemos noticia. Habría sido una locura mandar instrumentos que no fueran capaces ni siquiera de detectar vida en la Tierra. Eran aparatos exquisitamente sensibles, capaces de encontrar microbios en los desiertos y páramos más áridos y poco prometedores de la Tierra.

Uno de ellos medía los gases intercambiados entre el suelo y la atmósfera marcianos en presencia de materia orgánica de la Tierra. Un segundo ensayo diseminaba una gran variedad de alimentos orgánicos, marcados mediante un indicador radiactivo, para observar si había bichos en el suelo de Marte que los consumieran y los oxidaran, convirtiéndolos en anhídrido carbónico radiactivo. Una tercera prueba introducía anhídrido carbónico radiactivo (y también monóxido de carbono) en el suelo marciano, a fin de comprobar si los microbios

marcianos lo absorbían. Para sorpresa inicial de, yo creo, todos los científicos involucrados, los tres experimentos dieron lo que al principio parecían resultados positivos. Se constataba intercambio de gases y se producía incorporación de anhídrido carbónico al suelo del planeta.

Pero existen razones para ser cautos. Estos estimulantes resultados no se consideran de modo general un indicio válido de la existencia de vida en Marte: los procesos metabólicos putativos de los microbios marcianos se produjeron bajo una amplia serie de condiciones específicas dentro de las sondas del *Viking,* humedad (mediante agua líquida procedente de la Tierra) y sequedad, luz y oscuridad, frío (sólo algo por encima del punto de congelación) y calor (prácticamente la temperatura normal de ebullición). Muchos microbiólogos consideran improbable que los microbios marcianos fueran tan capaces bajo condiciones tan variadas. Otro punto que induce en gran medida al escepticismo estriba en el hecho de que se llevara a cabo un cuarto experimento, con el objetivo de buscar materias químicas orgánicas en el suelo de Marte, que dio resultados negativos generalizados a pesar de su elevada sensibilidad. Cabe esperar que la vida en Marte, como la terrestre, esté organizada alrededor de moléculas basadas en el carbono. No encontrar en absoluto dicho tipo de moléculas amilanó a los exobiólogos más optimistas.

Los resultados aparentemente positivos obtenidos en los experimentos de detección de vida se atribuyen hoy, de manera generalizada, a sustancias químicas que oxidan el suelo y que se derivan en última instancia de la luz solar ultravioleta (tal como refiere el capítulo anterior). Hay todavía un puñado de científicos del programa Viking que se preguntan si podría haber organismos extremadamente resistentes y competentes diseminados en una fina capa del suelo marciano, de tal manera que no pudiera ser detectada su química orgánica, pero sí sus procesos metabólicos. Dichos científicos no niegan que el suelo de ese planeta contenga oxidantes generados por los rayos ultravioletas, pero subrayan que la mera presencia de los mismos no ha ofrecido hasta el momento una explicación completa para los resultados de detección de vida del *Viking.* También se ha reivindicado experimentalmente la presencia de materia orgánica en los meteoritos SNC, pero más bien parece tratarse de contaminantes que se han introducido en el meteorito con posterioridad a su llegada a nuestro mundo. Hasta el momento, nadie ha encontrado microbios marcianos en estas rocas caídas del cielo.

Tal vez por el hecho de que parece complacer a la opinión pública, la NASA y muchos de los científicos de la misión Viking se han mostrado muy cautelosos a la hora de perseguir las hipótesis biológicas. Incluso ahora podría hacerse mucho más en lo que respecta a la revisión de los datos con que contamos, a la inspección con instrumentos del mismo tipo que los del *Viking* de suelos antarticos u otros que alberguen pocos microbios, a la simulación en el laboratorio del papel de los oxidantes en suelo marciano y al diseño de experimentos para dilucidar esas cuestiones —sin excluir, claro está, nuevas exploraciones en busca de vida—, por medio de futuros vehículos de aterrizaje sobre Marte.

Si realmente no se encontró una rúbrica inequívoca de la presencia de vida, a través de experimentos de elevada sensibilidad en dos lugares separados por una distancia de cinco mil kilómetros, en un planeta marcado por un transporte global de partículas finas a cargo del viento, ello sugiere al menos que Marte podría ser, por lo menos hoy, un planeta carente de vida. Pero si Marte carece de vida, nos hallamos ante dos planetas que tienen virtualmente la misma edad y condiciones primitivas, evolucionando uno junto al otro en el mismo sistema solar: la vida prolifera en uno, pero en el otro no. ¿Por qué razón?

Quizá los restos químicos o fósiles de la vida marciana primitiva puedan hallarse todavía, en algún nivel subterráneo, bien protegidos de la radiación ultravioleta y sus productos de oxidación, que hoy están friendo la superficie del planeta. Tal vez en las caras de las rocas que han quedado expuestas por desprendimientos de tierra, o en las orillas de un antiguo valle fluvial o en el lecho de un lago ahora seco, o bien en terreno polar laminado, nos están esperando pruebas concluyentes de la existencia de vida en otro planeta.

A pesar de su ausencia sobre la superficie de Marte, las dos lunas del planeta, Fobos y Deimos, parecen ricas en materia orgánica compleja, cuya edad se remonta a la historia primitiva del sistema solar. La nave soviética *Phobos 2* halló evidencias de la presencia de vapor de agua emanando de Fobos, como si ésta poseyera un interior helado calentado por radiactividad. Es posible que las lunas de Marte fueran capturadas mucho tiempo atrás de algún lugar del sistema solar exterior; cabe imaginar que constituyan los ejemplos más cercanos de que disponemos de materia inalterada desde los días primitivos del sistema solar. Fobos y Deimos son muy pequeñas, alcanzando cada una de ellas un diámetro de apenas diez kilómetros, con lo que la gravedad que ejercen es prácticamente insignificante. Así pues, resulta comparativamente fácil llegar a ellas, aterrizar allí, examinarlas, emplearlas como base de operaciones para el estudio de Marte y luego regresar a casa.

Marte nos llama, un almacén de información científica importante por derecho propio, pero también en virtud de la luz que arroja sobre el entorno de nuestro propio planeta. Hay misterios que esperan ser resueltos en relación con el interior de Marte y su origen, la naturaleza de los volcanes en un mundo carente de placas tectónicas, la persistencia de las formas geográficas sobre un planeta que sufre tormentas de arena ni siquiera soñadas en la Tierra, glaciares y formas polares, el escape de atmósferas planetarias y la captura de lunas, por mencionar al azar unas cuantas muestras de entre las incógnitas científicas que nos plantea. Si Marte disfrutó en su día de abundante agua líquida y de un clima clemente, ¿qué fue lo que lo estropeó todo? ¿Cómo pudo un mundo similar a la Tierra volverse tan reseco, frío y carente de aire, comparativamente hablando? ¿Acaso encierra algún secreto sobre nuestro propio planeta que debiéramos conocer?

Nosotros los humanos hemos sido así con anterioridad. Los antiguos exploradores habrían entendido la llamada de Marte. No obstante, la mera exploración científica no requiere la presencia humana. Siempre podemos enviar

ingeniosos robots. Resultan mucho más baratos, no replican con insolencia, puedes mandarlos a lugares mucho más peligrosos y, siempre asumiendo algún riesgo de fracaso de la misión, evitan poner en peligro vidas humanas.

¿Alguien me ha visto?», reza el reverso del cartón de leche. «*Mars Observer,* 6' x 4,5' x 3', 2 500 kg. Se supo de él por última vez el 21-08-93, a 627 000 Km. de Marte.»

«*M.O.* llamando a casa», era el lastimero mensaje que difundía una banderola colgada en el exterior de la base de operaciones de la misión, instalada en el Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL), a fines de agosto de 1993. El fallo de la nave espacial americana *Mars Observer,* justo antes de que se insertara en la órbita de Marte, supuso una decepción colosal. En veintiséis años, era la primera misión lunar o planetaria americana que fracasaba en una fase posterior a su lanzamiento. Muchos científicos e ingenieros habían dedicado una década de su vida profesional al M. O. Constituía además la primera misión de Estados Unidos a Marte en diecisiete años, desde las dos sondas orbitales y las dos de descenso de la misión Viking en 1976. Era también la primera nave espacial propiamente dicha de la época posterior a la guerra fría: científicos rusos formaban parte de varios de los equipos de investigadores, y el *Mars Observer* debía actuar como un circuito repetidor de radio esencial para las sondas de aterrizaje de la que estaba programada como la próxima misión rusa Mars '94, así como para una ambiciosa misión con vehículos rodantes y globos denominada Mars '96.

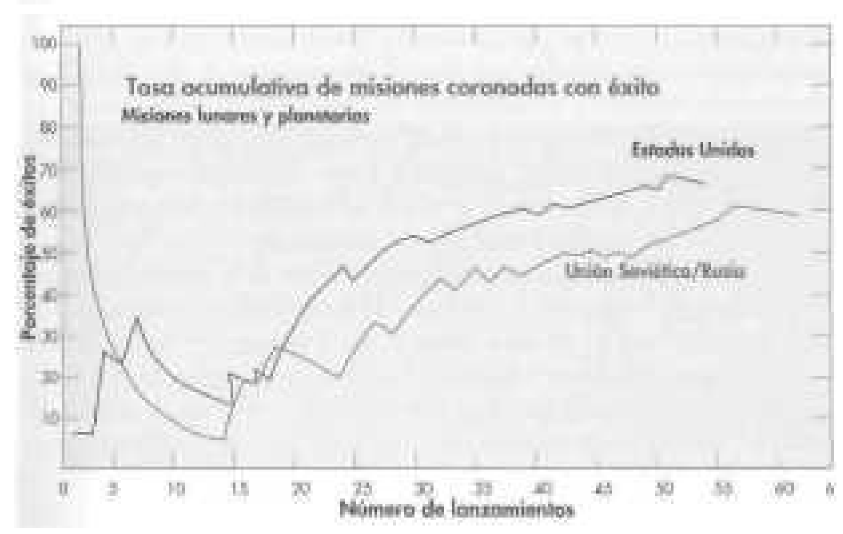
Los instrumentos científicos a bordo del *Mars Observer* habrían cartografiado la geoquímica del planeta y preparado el camino para futuras misiones determinando además las decisiones respecto a los lugares óptimos de aterrizaje. Por otra parte, habría echado nueva luz sobre la cuestión del importantísimo cambio climático que parece haber tenido lugar en la historia primitiva del planeta. La nave también habría fotografiado algunas partes de la superficie de Marte con una resolución de menos de dos metros. Como es lógico, no tenemos ni idea de las maravillas que habría descubierto el *Mars Observer.* Pero cada vez que examinamos un mundo con instrumentos nuevos y con una resolución ampliamente mejorada emerge una asombrosa serie de hallazgos, como ocurrió cuando Galileo enfocó el primer telescopio hacia el cielo e inauguró la era de la astronomía moderna

Según la comisión de investigación, la causa del fallo radicó probablemente en una rotura del tanque de combustible durante la fase de presurización, lo que provocó que salieran despedidos gases y líquidos, y que la nave averiada empezara a girar totalmente fuera de control. Tal vez podría haberse evitado. Quizá no fue más que un accidente desafortunado. No obstante, a fin de adquirir una perspectiva sobre el asunto, demos un breve repaso a todas las misiones con destino a la Luna y los planetas diseñadas por Estados Unidos y la antigua Unión Soviética.

Al principio, nuestros registros fueron pobres. Los vehículos espaciales explotaban durante el despegue, fallaban a la hora de alcanzar sus objetivos o bien

dejaban de funcionar una vez en ellos. A medida que fue pasando el tiempo, los humanos fuimos mejorando nuestros vuelos interplanetarios. Hubo una curva de aprendizaje. Los cuadros anexos muestran dichas curvas (basadas en datos de la NASA con sus definiciones relativas a misiones coronadas por el éxito). Aprendimos a buen ritmo. Nuestra habilidad actual para reparar naves espaciales en pleno vuelo ha quedado ilustrada a la perfección con el ejemplo de las misiones Voyager anteriormente descrito.





Tasa de éxitos de las misiones norteamericanas y rusas a la Luna y a los planetas: arriba, lanzamientos coronados por el éxito. Abajo, misiones globales coronadas por el éxito. Se aprecia claramente una curva de progreso constante, pero es inevitable un determinado porcentaje de fracasos.

Constatamos en el gráfico que aproximadamente hasta el lanzamiento número 35 con destino a la Luna o a los planetas, y no antes, la tasa acumulativa de éxitos en misiones de Estados Unidos no alcanzó el cincuenta por ciento. Los rusos necesitaron cerca de cincuenta lanzamientos para alcanzar dicho porcentaje. Efectuando la media entre los vacilantes comienzos y la mejor actuación reciente, concluimos que tanto Estados Unidos como Rusia presentan una tasa acumulativa de éxitos en los lanzamientos de alrededor de un ochenta por ciento. Pero la tasa acumulativa de éxitos globales de las misiones se sitúa todavía por debajo del

setenta por ciento para Estados Unidos y del sesenta por ciento para la URSS/Rusia. O, lo que viene a ser lo mismo, las misiones lunares y planetarias han fracasado por término medio en un treinta o cuarenta por ciento de las ocasiones.

Las misiones a otros mundos se situaron desde sus comienzos en la vanguardia de la tecnología. Y todavía hoy continúan estándolo. Son diseñadas con subsistemas de reserva y comandadas por ingenieros experimentados y de plena dedicación, pero aun así no son perfectas. Lo asombroso del asunto no es que lo hayamos hecho tan mal, sino, por el contrario, que lo hayamos hecho tan bien.

Desconocemos si el fallo del *Mars Observer* se debió a la incompetencia o simplemente a cuestiones estadísticas, pero en las misiones de exploración de otros mundos debemos contar siempre con una cuota fija de fracasos. No se arriesgan vidas humanas cuando se pierde una nave espacial robotizada. Incluso si fuéramos capaces de mejorar de forma significativa esta tasa de éxito, resultaría, con mucho, demasiado costoso. Es preferible asumir mayores riesgos y mandar mayor número de naves.

Conociendo la imposibilidad de reducir los riesgos, ¿por qué limitamos nuestras actuales misiones espaciales a una sola nave? En 1962 el *Mariner 1,* programado para viajar a Venus, cayó al Atlántico; el casi idéntico *Mariner 2* se convirtió en la primera misión planetaria de la especie humana coronada por el éxito. El *Mariner 3* fracasó y su gemelo, el *Mariner 4,* de 1964, fue la primera nave que tomó primeros planos de Marte. O bien consideremos la misión de doble lanzamiento, en 1971, de los *Mariner 8* y *Mariner 9,* con destino a Marte. El *Mariner 8* debía cartografiar el planeta, mientras que el *Mariner 9* tenía el encargo de estudiar los enigmáticos cambios estacionales y seculares de las marcas de su superficie. El *Mariner 8* cayó al océano. El *Mariner 9* llegó hasta Marte y se convirtió en la primera nave espacial de la historia humana que orbitó alrededor de otro planeta. Descubrió los volcanes, el terreno laminado en los casquetes polares, los antiguos valles fluviales, así como la naturaleza eólica de los cambios observados en su superficie. Refutó la teoría de los «canales». Cartografió el planeta de polo a polo y puso de manifiesto todas las características geológicas importantes que hoy conocemos de Marte. Proporcionó, asimismo, las primeras observaciones cercanas de miembros de toda una clase de mundos pequeños (apuntando a las lunas marcianas, Fobos y Deimos). Si hubiéramos lanzado únicamente el *Mariner 8,* el esfuerzo nos habría reportado un fracaso absoluto.

Hubo también dos *Viking,* dos *Voyager,* dos *Vega* y varios pares de *Venera.* ¿Por qué se lanzó solamente un *Mars Observer?* La respuesta estándar reside en el coste. Sin embargo, una de las razones de que resultara tan cara responde al hecho de que se decidiera proyectarla mediante lanzadera espacial, una sección propulsora casi absurdamente costosa para misiones planetarias y, en este caso, decididamente, demasiado cara para el lanzamiento de dos M. O. Tras numerosos retrasos e incrementos de coste relacionados con la lanzadera, la NASA cambió de opinión y optó por lanzar el *Mars Observer* mediante un cohete propulsor Titán. Ello trajo consigo un retraso adicional de dos años y la necesidad de un adaptador

para acoplar la nave al nuevo vehículo de lanzamiento. Si la NASA no se hubiera empeñado en proporcionar negocio a la industria de las lanzaderas, cada vez menos lucrativa, podríamos haber puesto en marcha la misión un par de años antes y con dos naves en lugar de una.

Ya sea en lanzamientos individuales o por parejas, las naciones que efectúan vuelos espaciales han decidido claramente que ha llegado el momento de mandar de nuevo robots exploradores a Marte. Los diseños de las misiones cambian; nuevas naciones entran en juego; algunas de las que participaban descubren que ya no disponen de los medios para hacerlo. Incluso los programas que han recibido los fondos necesarios no siempre llegan a realizarse. Pero los planes que están en marcha dicen mucho de la intensidad de los esfuerzos y de la enorme dedicación que merecen.

Mientras escribo este libro, Estados Unidos, Rusia, Francia, Alemania, Japón, Austria, Finlandia, Italia, Canadá, la Agencia Espacial Europea y otras entidades poseen planes en fase experimental para la exploración robótica coordinada de Marte. En los siete años que median entre 1996 y el 2003, una flotilla de unas veinticinco naves —la mayoría de ellas comparativamente pequeñas y económicas— debe ser enviada a Marte desde la Tierra. Entre ellas no habrá ninguna que se limite a acercarse de manera rápida; todas son misiones de larga duración, con sondas orbitales y de aterrizaje. Estados Unidos tiene previsto mandar de nuevo la totalidad de los instrumentos científicos que se perdieron con el *Mars Observer.* Las naves rusas llevarán consigo experimentos particularmente ambiciosos en los que se hallan implicadas unas veinte naciones. Los satélites de comunicación harán posible que las estaciones experimentales puedan enviar sus datos de vuelta a la Tierra desde cualquier punto del planeta Marte. Una serie de perforadores caerán silbando desde la órbita, se clavarán en el suelo de Marte y transmitirán datos de sus capas subterráneas. Globos instrumentales y laboratorios ambulantes se pasearán sobre las arenas del planeta. Algunos de los microrrobots no pesarán más de unos cuantos kilos. Los instrumentos se calibrarán de forma cruzada y, además, podrán intercambiarse libremente los datos. Existen, pues, todas las razones para pensar que, en los años venideros, Marte y sus misterios se irán haciendo cada vez más familiares para los habitantes del planeta Tierra.

En la base de mando de la tierra, en una sala especial, nos encontramos ataviados con casco y guantes. Giramos la cabeza hacia la izquierda y la cámara del robot en Marte gira hacia la izquierda. Podemos ver, en imagen de muy alta definición y a todo color, lo que está viendo la cámara. Efectuamos un paso adelante y el robot avanza hacia adelante. Extendemos el brazo para recoger algo que brilla en el suelo, y el brazo de la máquina hace lo propio. Las arenas de Marte nos resbalan entre los dedos. La única dificultad que plantea esta tecnología de realidad remota es que todo ocurre, tediosamente, a cámara lenta: las órdenes desde la Tierra a Marte y el regreso a la Tierra de la respuesta pueden tardar más de media hora. Pero eso es algo que podemos aprender a hacer. Podemos aprender a contener nuestra impaciencia exploratoria, si es ése el precio que cuesta explorar

Marte. El vehículo puede ser lo suficientemente ingenioso como para solucionar eventualidades rutinarias. Si se le presenta cualquier obstáculo, se detiene, se coloca en posición de seguridad y se pone en contacto con la Tierra para que un paciente controlador se haga cargo de dirigirla.

Inventemos ingenios mecánicos ambulantes, cada uno de ellos un pequeño laboratorio científico, que aterricen en lugares aburridos pero seguros y vayan a contemplar en primer plano algunas de las profusas maravillas marcianas. Tal vez tendríamos cada día un robot avanzando hacia su propio horizonte; cada mañana podríamos ver de cerca lo que el día anterior era solamente una elevación distante. Los progresos de una ruta a través del paisaje de Marte aparecerían en los telediarios y serían observados en las escuelas. La gente aventuraría especulaciones sobre lo que se va a encontrar. Noticias nocturnas procedentes de otro planeta, cargadas de revelaciones sobre nuevos terrenos y nuevos hallazgos científicos, harían que en la Tierra todos nos sintiéramos partícipes de la aventura.

Luego está la realidad virtual marciana: los datos que nos lleguen de Marte, almacenados en un ordenador moderno, son transferidos a nuestro casco, guantes y botas. Estamos caminando en una habitación vacía de la Tierra, pero a nosotros nos parece estar en Marte: cielos rosados, campos salpicados de montículos, dunas de arena extendiéndose en el horizonte, por donde asoma un inmenso volcán; escuchamos la arena crujir bajo nuestras botas, apartamos piedras, cavamos un agujero, tomamos muestras del aire ligero, damos la vuelta a una esquina y aparece ante nuestros ojos... cualquier nuevo descubrimiento que se pueda efectuar en Marte, todo ello copias exactas del Marte real y todo experimentado sin correr peligros, en la seguridad de una sala de realidad virtual de nuestra ciudad. No es ése, claro está, el motivo para explorar Marte, pero es evidente que necesitaremos robots de exploración que nos manden la realidad real para poder reconfigurarla en realidad virtual.

Especialmente si se efectúa una inversión continua en el campo de la robótica y de la inteligencia mecánica, enviar seres humanos a Marte no puede justificarse únicamente mediante la ciencia. Además, muchísimas más personas podrán experimentar el Marte virtual de las que sería posible mandar al Marte real. Podemos arreglárnoslas muy bien con los robots. Si de verdad queremos mandar personas a Marte, vamos a necesitar mejores argumentos que la ciencia y la exploración.

En los años ochenta creía tener una justificación coherente para las misiones humanas con destino a Marte. Imaginaba a Estados Unidos y a la Unión Soviética, los dos rivales enfrentados en la guerra fría que habían puesto en peligro nuestra civilización global, aliándose en un esfuerzo tecnológico de largo alcance que abriría las puertas de la esperanza a los seres humanos de todo el mundo, imaginaba un programa del estilo del Apolo pero al revés, en el cual la cooperación y no la competición constituiría la fuerza motriz, en el cual las dos naciones que lideraban la carrera del espacio aportarían unidas las bases para un avance crucial en la historia humana, la colonización de otro planeta.

El simbolismo parecía venir como anillo al dedo. La misma tecnología capaz de propulsar armas apocalípticas de un continente a otro haría posible el primer viaje humano a otro planeta. Se trataba de una elección con unos poderes míticos muy apropiados: abrazar un planeta que se denomina como el dios de la guerra, en lugar de poner en práctica la locura que con él se asocia.

Conseguimos interesar a los científicos e ingenieros soviéticos en la realización de un esfuerzo común de esa envergadura. Roald Sagdeev, entonces director del Instituto de Investigación Espacial de la Academia Soviética de la Ciencia en Moscú, se hallaba ya profundamente implicado en la cooperación internacional, en misiones robóticas soviéticas con destino a Venus, Marte y el cometa Halley, mucho antes de que surgiera la idea. El proyecto del uso conjunto de la estación espacial soviética *Mir* y del cohete Energiya, de la clase Saturn V, hizo atractiva la cooperación para las organizaciones soviéticas que fabricaban esas piezas de hardware, organizaciones que, por otra parte, estaban teniendo dificultades para justificar sus mercancías. Mediante una serie de argumentos (siendo el de la contribución al final de la guerra fría el más importante) se convenció al entonces líder soviético Mijaíl S. Gorbachov. Durante la cumbre de Washington de diciembre de 1987, preguntado el líder soviético acerca de cuál era la actividad conjunta más importante que pudiera simbolizar el cambio en las relaciones entre ambas naciones, Gorbachov respondió sin titubear: «Vayamos juntos a Marte.»

Pero la Administración Reagan no estaba interesada en el tema. Cooperar con los rusos, reconocer que determinadas tecnologías soviéticas eran más avanzadas que sus contrapartidas norteamericanas, revelar los secretos de algunas tecnologías americanas a los soviéticos, compartir méritos y proporcionar una alternativa a los fabricantes de armas eran conceptos que no eran del agrado del gobierno en el poder. En consecuencia, la oferta fue rechazada. Marte tendría que esperar.

En unos pocos años, los tiempos han cambiado. La guerra fría ha quedado atrás. La Unión Soviética ya no existe. El beneficio derivado de la colaboración de ambas naciones ha perdido fuerza. Otros países, especialmente Japón y los miembros constituyentes de la Agencia Espacial Europea, se han convertido en viajeros interplanetarios. Muchas demandas urgentes y justificadas gravan los presupuestos discrecionales de las naciones.

Pero la sección propulsora de carga pesada Energiya todavía espera que se le asigne una misión. El cohete Protón ya está disponible como caballo de tiro. La estación espacial *Mir* —con una tripulación a bordo casi de forma continua— todavía describe cada hora y media una órbita alrededor de la Tierra. A pesar de las turbulencias internas, el programa espacial ruso sigue adelante con fuerza. La cooperación espacial entre Rusia y Estados Unidos se está acelerando. Un cosmonauta ruso, Sergei Krikalev, voló en 1994 a bordo del transbordador espacial *Discovery* (en la misión habitual de una semana de duración; Krikalev había cubierto ya 464 días a bordo de la estación espacial *Mir).* Está previsto además que astronautas norteamericanos visiten la estación *Mir.* Los vehículos espaciales rusos

con destino a Marte llevarán a bordo aparatos científicos americanos, entre los cuales se incluye uno para examinar los oxidantes, a los que se atribuye la destrucción de las moléculas orgánicas del suelo marciano. El *Mars Observer* fue diseñado para servir de estación de relevo a las sondas de aterrizaje de las misiones rusas a Marte. Los rusos, por su parte, han ofrecido incluir un orbitador de Estados Unidos en una próxima misión a Marte, propulsada por el lanzador multicarga Protón.

La capacidad de Estados Unidos y la de Rusia en tecnología y ciencia espaciales encajan bien, discurren por vías complementarias. Una es fuerte donde la otra es débil. Se trata de un matrimonio forjado en el cielo, pero que ha resultado sorprendentemente difícil de consumar.

El 2 de Septiembre de 1993 el vicepresidente norteamericano Al Gore y el primer ministro ruso Viktor Chernomyrdin firmaron en Washington un acuerdo de cooperación en profundidad. La Administración Clinton ha ordenado a la NASA rediseñar la estación espacial norteamericana (bautizada *Freedom* en la era Reagan) a fin de que circule en la misma órbita que la *Mir* y pueda acoplarse a ella: se unirán también módulos japoneses y europeos, así como un brazo robot de nacionalidad canadiense. El diseño ha evolucionado actualmente hacia la que se ha dado en llamar estación espacial *Alpha,* en la que se hallan involucradas casi todas las naciones con presupuesto espacial. (China constituye la excepción más notable.)

A cambio de la cooperación espacial de Estados Unidos, y tratándose de un tema de difícil aceptación, Rusia accedió, en efecto, a detener sus ventas de componentes de misiles balísticos a otras naciones y, de forma general, a imponer un severo control sobre sus exportaciones de tecnología de armas estratégicas. De este modo, una vez más el espacio se convierte, como lo fue en los momentos culminantes de la guerra fría, en un instrumento de política estratégica nacional.

Sin embargo, esta nueva tendencia ha incomodado profundamente a una parte de la industria aeroespacial, así como a algunos miembros clave del Congreso. Sin competencia internacional, ¿seremos capaces de motivar la realización de esfuerzos tan ambiciosos? ¿Va a significar cada vehículo ruso lanzado y utilizado de forma cooperativa un menor apoyo para la industria aeroespacial norteamericana? ¿Pueden los americanos confiar en un apoyo estable y en la continuidad de esfuerzos en los proyectos conjuntos con los rusos? (Estos, claro está, se formulan preguntas similares en relación con los americanos.) No obstante, los programas de cooperación suponen un ahorro a largo plazo, aprovechan el extraordinario talento científico y de ingeniería distribuido por el planeta y proporcionan inspiración acerca del futuro global. Puede haber fluctuaciones en los compromisos nacionales. Es probable que demos pasos hacia adelante y también hacia atrás. Pero la tendencia generalizada parece clara.

A pesar de las crecientes dificultades, los programas espaciales de los dos antiguos adversarios están empezando a converger. Hoy es posible prever una estación espacial internacional —adscrita no a una nación concreta sino a todo el

planeta Tierra— que será montada a 51° de inclinación hacia el ecuador y a unos pocos cientos de kilómetros cielo arriba. Se está discutiendo una espectacular misión conjunta, denominada «Fuego y hielo», que pretende un rápido acercamiento a Plutón, el último planeta inexplorado; pero para llegar allí se emplearía la ayuda gravitatoria del Sol, en el curso de la cual pequeñas sondas penetrarían de facto en la atmósfera solar. Y parece que nos encontramos en el umbral de un consorcio mundial para la exploración científica de Marte. Todo indica que esos proyectos van a llevarse a cabo de forma cooperativa o, de otro modo, no llegarán a realizarse.

Si existen razones válidas, justificativas de los costes y ampliamente defendibles, para mandar seres humanos a Marte es una pregunta que permanece abierta. Ciertamente, no hay consenso. La cuestión es abordada en el próximo capítulo.

Yo apuntaría que, si finalmente no vamos a enviar personas a mundos tan distantes como Marte, hemos perdido el argumento principal en favor de la estación espacial, un puesto de avanzada humana permanente o intermitentemente ocupado en la órbita terrestre. Una estación espacial queda lejos de ser una plataforma óptima de investigación científica, lo mismo mirando hacia la Tierra que apuntando hacia el espacio o para emplear la microgravedad (la mera presencia de astronautas complica las cosas). En cuanto al reconocimiento militar, es de calidad muy inferior al que pueden llevar a cabo las naves espaciales robotizadas. No existen aplicaciones apremiantes económicas o de fabricación. Comparada con las naves robotizadas resulta cara. Y, naturalmente, comporta algún riesgo de pérdida de vidas humanas. Cada lanzamiento de un transbordador para ayudar a construir o abastecer una estación espacial implica un uno o dos por ciento de probabilidades estimadas de fracaso catastrófico. Anteriores actividades espaciales civiles y militares han diseminado escombros que se mueven con rapidez por el nivel inferior de la órbita terrestre y que, tarde o temprano, colisionarían con una estación espacial (si bien hasta el momento la estación *Mir* no ha tenido fallos atribuibles a dicho peligro). Una estación espacial resulta asimismo innecesaria para la exploración humana de la Luna. *Apolo* llegó perfectamente a ella sin la intervención de estación espacial alguna. Mediante cohetes de la categoría del Saturn V o el Energiya se podría llegar a asteroides cercanos a la Tierra, o incluso a Marte, sin necesidad de ensamblar el vehículo interplanetario en una estación espacial en órbita.

Una estación espacial podría servir de estímulo y como medio de formación, y ayudaría a reforzar las relaciones entre las naciones con programas espaciales, particularmente Estados Unidos y Rusia. No obstante, la única función esencial de una estación espacial que alcanzo a vislumbrar se concretaría en los vuelos espaciales de larga duración. ¿Cómo se comporta el cuerpo humano en una situación de microgravedad? ¿Cómo podemos combatir los cambios progresivos en la química sanguínea y una pérdida estimada de masa ósea de un seis por ciento anual en un entorno de gravedad cero? (En una misión de tres o cuatro años

a Marte, a todo ello se suma que los viajeros tendrían que moverse a cero grados.)

No son cuestiones de biología básica como el DNA o el proceso evolutivo; más bien introducen temas de biología humana aplicada. Por supuesto que es importante conocer las respuestas, pero solamente si pretendemos viajar a algún lugar muy alejado del espacio que vayamos a tardar mucho tiempo en alcanzar. La única finalidad tangible y coherente de una estación espacial radica en la posibilidad de eventuales misiones humanas con destino a asteroides cercanos a la Tierra, a Marte y más allá. Históricamente, la NASA ha sido cauta a la hora de explicarlo de una forma clara, probablemente por miedo a que algunos miembros del Congreso se echaran las manos a la cabeza, denunciaran la estación espacial como la punta de lanza de una partida extremadamente costosa y declararan que el país no estaba preparado para comprometerse a mandar seres humanos a Marte. Efectivamente, pues, la NASA ha mantenido en silencio la auténtica finalidad del proyecto de la estación espacial. Y, sin embargo, si dispusiéramos de una estación espacial, nada nos obligaría a ir directos a Marte. Podríamos utilizarla para acumular y refinar conocimientos relevantes e invertir en ello el tiempo que nos pareciera oportuno, de tal modo que, cuando de verdad llegara el momento, cuando estuviéramos realmente preparados para viajar a los planetas, contáramos con los conocimientos y la experiencia necesarios para hacerlo de una forma segura.

El fracaso del *Mars Observer* y la catastrófica pérdida del transbordador espacial *Challenger* en 1986 nos recuerdan que existe una irreducible posibilidad de desastre en los futuros viajes humanos a Marte o a cualquier otro lugar del espacio. La misión del *Apolo 13,* que fue incapaz de tomar tierra en la Luna y a duras penas pudo regresar sana y salva a la Tierra, subraya lo afortunados que hemos sido. No podemos fabricar coches y trenes ciento por ciento seguros, a pesar de que venimos haciéndolo desde hace más de un siglo. Cientos de miles de años después de que lográramos domesticar el fuego, todas las ciudades del mundo poseen hoy un servicio de bomberos, siempre pendiente de que se produzca algún incendio que requiera su intervención. En los cuatro viajes de Colón al Nuevo Mundo, éste perdió barcos a diestro y siniestro, llegando hasta un tercio de la pequeña flota que partió en el año 1492.

Si decidimos enviar personas al espacio, tendrá que ser por una razón de peso y sin perder de vista en ningún momento el hecho de que casi con seguridad ello va a implicar la pérdida de vidas humanas. Los astronautas y cosmonautas siempre lo han tenido claro. Y, a pesar de ello, nunca ha habido ni habrá escasez de voluntarios.

Pero ¿por qué a Marte? ¿Por qué no volver a la Luna? Está cerca y hemos demostrado que sabemos cómo enviar seres humanos hasta allí. Me temo que la Luna, cercana como se encuentra, represente un largo rodeo, si no un callejón sin salida. Ya hemos estado allí. Incluso hemos traído trozos de la misma. La gente ha tenido ocasión de ver rocas lunares y, por razones, creo yo, básicamente acertadas, la Luna los aburre. Se trata de un mundo estático, sin aire, sin agua, de cielos

negros, un mundo muerto. Su aspecto más interesante estriba quizá en los cráteres que presenta su superficie, un registro de antiguos impactos catastróficos, tanto en la Tierra como en la Luna.

Marte, por el contrario, posee meteorología, tormentas de polvo, sus propias lunas, volcanes, casquetes de hielo polar, accidentes geográficos peculiares, antiguos valles fluviales, así como evidencias de un masivo cambio climático en un planeta que, en su día, fue parecido a la Tierra. Conserva una expectativa de vida en el pasado y, tal vez, también en el presente y es el planeta más compatible para la vida en el futuro, la vida de seres humanos llegados desde la Tierra, viviendo de la tierra. Nada de todo eso se cumple en el caso de la Luna. Marte posee también su propia historia, deducible a partir de los cráteres. Si en lugar de la Luna hubiera sido Marte el que hubiera estado a nuestro alcance, no habríamos dejado de lado los vuelos espaciales tripulados.

Tampoco es que la Luna constituya un banco de pruebas especialmente interesante, ni una estación intermedia de camino hacia Marte. Los entornos medioambientales de Marte y de la Luna son muy distintos, y esta última se encuentra tan alejada de Marte como lo está la Tierra. La maquinaria para la exploración marciana puede ser comprobada, al menos igual de bien, en la órbita terrestre, en asteroides cercanos a la Tierra o en la misma Tierra, por ejemplo en la Antártida.

Japón tiende a mostrarse escéptico acerca del compromiso de Estados Unidos y otras naciones para planificar y ejecutar proyectos importantes de cooperación espacial. Esa es una de las razones por las que Japón, más que cualquier otra nación con programa espacial, se ha inclinado por actuar de forma individual. La Sociedad Lunar y Planetaria de Japón es una organización que representa a los entusiastas del espacio en el seno del gobierno, de las universidades y de las principales empresas. En el momento de redactar estas líneas, dicha sociedad ha presentado la propuesta de construir y abastecer enteramente mediante mano de obra robótica una base lunar. Se prevé invertir unos treinta años en su construcción y que cueste alrededor de mil millones de dólares anuales (cifra que representaría un siete por ciento del actual presupuesto espacial civil estadounidense). No albergaría humanos hasta que la base estuviera completamente a punto. Se afirma que la utilización de equipos de construcción robotizados, comandados por radio desde la Tierra, arroja unos costes diez veces inferiores. El único problema que presenta el proyecto, según los informes, radica en que otros científicos se siguen preguntando: «¿Para qué sirve?» Es una buena pregunta que se plantea en todas las naciones.

Probablemente, la primera misión humana a Marte resulte hoy demasiado costosa para que una nación la ponga en marcha por separado. Tampoco es positivo que un paso histórico de esas características sea asumido de forma unilateral por representantes de una pequeña fracción de la especie humana. Pero un proyecto de cooperación entre Estados Unidos, Rusia, Japón, la Agencia Espacial Europea, y quizá otras naciones, como China, podría resultar factible en

un futuro no demasiado lejano. La estación espacial internacional habrá puesto a prueba nuestra capacidad para trabajar juntos en grandes proyectos de ingeniería espacial.

Actualmente, el coste de enviar un kilo de cualquier material no más lejos del nivel bajo de la órbita terrestre es equiparable al coste de un kilo de oro. Esa es, con seguridad, una razón de peso que tenemos para pisar las antiguas orillas de Marte. Los cohetes químicos de etapas múltiples constituyeron los medios que nos llevaron por primera vez al espacio y son lo que hemos venido usando desde entonces. Hemos intentado refinarlos, hacerlos más seguros, más fiables, más simples, más baratos. Pero no ha funcionado, o al menos no al ritmo que muchos habían esperado.

Por tanto, quizá exista un modo mejor: tal vez podrían emplearse cohetes de una sola etapa que pudieran poner sus cargas directamente en órbita; o quizá múltiples cargas pequeñas puedan dispararse mediante cañones o por cohetes desde aviones; a lo mejor la solución estriba en los estatorreactores supersónicos. Es posible que exista un método mucho mejor que no se nos haya ocurrido todavía. Si somos capaces de fabricar propelentes a partir del aire y del suelo de nuestros destinos en el espacio para el trayecto de regreso, la dificultad del viaje se vería considerablemente reducida.

Una vez arriba, en el espacio, viajando hacia los planetas, los cohetes no constituyen necesariamente el mejor medio para transportar grandes cargas de un lugar a otro, incluso contando con la ayuda gravitatoria. Hoy en día, nos servimos de unos cuantos impulsos de cohete en las primeras fases, así como para las correcciones posteriores a medio trayecto, y el resto del camino funcionamos a velocidad de crucero. Pero existen sistemas de propulsión iónica y nuclear/eléctrica que ejercen una pequeña y constante aceleración. O bien, como imaginó por primera vez el pionero ruso del espacio Konstantin Tsiolkovsky, podríamos emplear velas solares, una carabela de kilómetros de anchura avanzando por el vacío entre los mundos. Especialmente para viajes a Marte y más allá, dichos métodos resultan mucho mejores que los cohetes.

Al igual que sucede con muchas tecnologías, cuando algo parece que funciona, cuando es el primero de su clase, existe una tendencia natural a mejorarlo, a desarrollarlo, a explotarlo. Pronto se ha originado una inversión institucional de tales dimensiones en la tecnología original que, independientemente de lo defectuosa que sea, resulta muy difícil sustituirla por algo mejor. La NASA no dispone prácticamente de recursos para investigar tecnologías de propulsión alternativas. Ese dinero debería proceder de misiones a corto plazo, misiones que pueden proporcionar resultados palpables y aumentar el registro de éxitos de la institución. Invertir fondos en tecnologías alternativas puede dar sus frutos en una década o dos. He ahí una de las maneras en que el éxito a corto plazo puede sembrar las semillas del fracaso a largo plazo; algo muy parecido ocurre a veces en la evolución biológica. Pero, tarde o temprano, alguna nación —tal vez una que no realice enormes inversiones en tecnología marginalmente eficaz— desarrollará

alternativas efectivas.

Incluso antes, si optamos por la vía de la cooperación, llegará un día —quizá en las primeras décadas del nuevo siglo y milenio— en que una nave espacial interplanetaria será ensamblada en la órbita terrestre, y el informativo de la noche nos brindará el progreso en todo su esplendor. Astronautas y cosmonautas, flotando en el aire como moscas, manejarán y acoplarán las partes prefabricadas. Finalmente la nave, comprobada y lista, será abordada por su tripulación internacional y lanzada a velocidad de escape. Durante todo el viaje hacia Marte y de regreso, las vidas de los miembros de la misión dependen unas de otras, un microcosmos de nuestras circunstancias reales aquí en la Tierra. Quizá la primera misión interplanetaria conjunta con tripulaciones humanas consistirá únicamente en acercarse u orbitar Marte. Con anterioridad, vehículos robot con freno aerodinámico, paracaídas y retrocohetes se habrán posado suavemente sobre la superficie del planeta para recoger muestras y mandarlas a la Tierra, así como para dejar suministros para exploradores futuros. En definitiva, tengamos o no razones coherentes e importantes, estoy convencido de que —a menos que nos autodestruyamos antes— llegará el día en que los seres humanos pisarán el planeta Marte. Se trata solamente de una cuestión de tiempo.

De acuerdo con un solemne tratado, firmado en Washington y Moscú el 27 de enero de 1967, ninguna nación podrá reclamar la soberanía sobre parte o la totalidad de otro planeta. Sin embargo —por razones históricas que Colón habría comprendido muy bien— hay quien se preocupa por la cuestión de quién va a pisar primero el suelo de Marte. Si eso nos inquieta realmente, podemos asegurarnos de que los miembros de la tripulación vayan todos atados por los tobillos en el momento de descender de la nave a la suave gravedad marciana.

Las tripulaciones recogerían muestras nuevas, previamente separadas, en parte para buscar vida y en parte para tratar de comprender el pasado y el futuro de Marte y de la Tierra. Realizarían experimentos para posteriores expediciones, encaminados a extraer agua, oxígeno e hidrógeno de las rocas y del aire, así como del permafrost subterráneo, con miras a beber, a alimentar sus máquinas, como combustible y oxidante para cohetes y para propulsar el viaje de regreso. Investigarían los materiales marcianos para la eventual fabricación de bases y asentamientos sobre el planeta.

Y continuarían explorando. Cuando imagino las primeras misiones de exploración humana en Marte, siempre aparecen vehículos rodantes parecidos a jeeps, descendiendo por las laderas de alguno de los valles, con una tripulación equipada con martillos geológicos, cámaras e instrumentos analíticos. Buscan rocas de tiempos pasados, señales de antiguos cataclismos, pistas acerca del cambio climático, sustancias químicas raras, fósiles o bien —lo más excitante, pero también más improbable— seres vivos. Sus descubrimientos son televisados en la Tierra, a donde llegan a la velocidad de la luz. Acurrucados en la cama con los niños, exploramos con avidez los antiguos lechos de ríos sobre el planeta Marte.

CAPÍTULO 16

SUBIR AL CIELO

¿Quién, amigo mío, es capaz de subir al cielo?
Poema épico de GILGAMESH
(Sumeria, III milenio a. J.C.)

¿Cómo es posible?, me pregunto a veces fascinado: nuestros antepasados se trasladaron del este de África a Nueva Zembla, a Ayers Rock y a la Patagonia, cazaron elefantes con puntas de lanza hechas de piedra, atravesaron los mares polares en botes abiertos, siete mil años atrás, circunnavegaron la Tierra sin más propulsión que el viento, pisaron la Luna al cabo de una década de haber penetrado en el espacio... ¿y a nosotros nos intimida un viaje a Marte? Pero luego me recuerdo a mí mismo todo el sufrimiento evitable sobre la Tierra, cómo unos pocos dólares pueden salvar la vida de un niño a punto de morir deshidratado, cuántos niños podríamos salvar por el coste de un viaje a Marte, y entonces, al momento, cambio de opinión. ¿Supone un mérito quedarse en casa o el mérito radica en ir? ¿O acaso he planteado una falsa dicotomía? ¿No es posible construir una vida mejor para todos los habitantes de la Tierra *y* llegar a los planetas *y* a las estrellas?

Tuvimos una carrera expansiva en los años sesenta y setenta. Uno habría podido pensar, como yo entonces, que nuestra especie habría pisado Marte antes de finalizar el siglo. Pero, en lugar de eso, nos hemos echado atrás. Dejando de lado los robots, nos hemos retirado de los planetas y las estrellas. Y yo sigo preguntándome: ¿se debe a una falta de nervio o es más bien un síntoma de madurez?

Quizá es lo máximo que razonablemente cabía esperar. En cierto modo, resulta asombroso que lo conseguido llegara a ser posible: enviamos a una docena de seres humanos a realizar excursiones de una semana de duración con destino a la Luna. Y nos fueron concedidos los medios para efectuar un reconocimiento preliminar de todo el sistema solar, hasta Neptuno en todo caso, misiones que nos proporcionaron gran profusión de datos pero ningún valor práctico, ningún dividendo a corto plazo, de uso cotidiano. Levantaron, eso sí, la moral humana. Nos iluminaron en lo que se refiere a nuestro lugar en el universo. Resulta fácil imaginar una maraña de causalidad histórica que no llegara a desembocar en la carrera a la Luna y en los programas planetarios.

Pero también entra dentro de lo posible imaginar una dedicación mucho más seria a la exploración, a consecuencia de la cual hoy tendríamos vehículos robotizados sondeando las atmósferas de todos los planetas jovianos y de docenas de lunas, cometas y asteroides; una red de estaciones científicas automáticas desplegadas en Marte transmitirían a diario sus hallazgos, y muestras de

numerosos mundos estarían siendo analizadas en los laboratorios de la Tierra, poniendo al descubierto la geología, la química e incluso, quizá, la biología de los mismos. Avanzadillas humanas podrían haberse establecido ya en los asteroides cercanos a la Tierra, en la Luna y en Marte.

Había muchos caminos históricos posibles. Nuestra particular maraña de causalidad nos ha llevado a una modesta y rudimentaria —si bien en muchos aspectos heroica— serie de exploraciones. No obstante, es muy inferior a lo que habría podido y puede que llegue a ser algún día.

«Llevar la prometeica chispa verde hasta el vacío estéril y prender allí el fuego de la materia animada constituye el verdadero destino de nuestra raza», reza el folleto de la llamada Fundación del Primer Milenio. Promete, por ciento veinte dólares al año, «la categoría de ciudadano» en «colonias espaciales, cuando llegue el momento». «Los benefactores» que contribuyan en mayor medida recibirán también «la imperecedera gratitud de una civilización abocada a las estrellas, y su nombre figurará grabado en el monolito que ha de erigirse en la Luna». Éste representa un extremo en el *continuum* del entusiasmo por la presencia humana en el espacio. El otro extremo —representado de forma óptima por el Congreso— cuestiona la necesidad de nuestra presencia en el espacio, especialmente la de seres humanos en lugar de robots. El programa Apolo fue un «engañabobos», según lo calificó en una ocasión el crítico social Amitai Etzioni; habiendo puesto punto final a la guerra fría, no existe justificación alguna para el programa espacial tripulado, digan lo que digan los defensores de dicha orientación. ¿En qué parte de ese espectro de opciones políticas debíamos situarnos?

Desde que Estados Unidos batiera a la Unión Soviética en la carrera hacia la Luna, parece haberse desvanecido una justificación coherente y ampliamente asumida para la presencia humana en el espacio. Presidentes y comités del Congreso se preguntan qué hacer con el programa espacial tripulado. ¿Para qué sirve? ¿Para qué lo necesitamos? Pero las hazañas de los astronautas y los aterrizajes sobre la superficie lunar despertaron —con razón— la admiración en todo el mundo. Suspender los vuelos espaciales tripulados supondría un rechazo a ese sorprendente logro norteamericano, se dicen los líderes políticos. ¿Qué presidente, qué Congreso desea asumir la responsabilidad de decretar el fin del programa espacial americano? Y en la antigua Unión Soviética se escucha un argumento similar; se preguntan: ¿debemos abandonar la única alta tecnología en la que todavía somos líderes mundiales? ¿Vamos a ser herederos desleales de Konstantin Tsiolkovsky, Sergei Korolev y Yuri Gagarin?

La primera ley de la burocracia es la que prescribe la garantía de su propia continuidad. Dejada a su libre albedrío, sin recibir instrucciones claras desde arriba, la NASA degeneró rápidamente en un programa encaminado a mantener beneficios, puestos de trabajo y emolumentos. Políticas oportunistas*, lideradas por el Congreso, se convirtieron en una fuerza decisiva a la hora de diseñar y ejecutar

* En el original «*pork barrel politics*», que según definición del Simón and Schuster's significa: apropiación o partida del presupuesto que se usa para patronazgo político. (Nota. *de la traductora.)*

las misiones y objetivos a largo plazo. La burocracia se enquistó. La NASA se desvió de su camino.

El 20 de Julio de 1989, en el vigésimo aniversario del alunizaje del *Apolo 11*, el presidente George Bush anunció una orientación a largo plazo para el programa espacial de Estados Unidos. Bautizada como Iniciativa de Exploración Espacial (SEI), proponía una secuencia de objetivos entre los que se incluía una estación espacial norteamericana, el retorno de los seres humanos a la Luna y el primer aterrizaje de una nave tripulada sobre Marte. En una declaración posterior, el presidente Bush fijó el año 2019 como plazo tope para alcanzar esta última meta.

Y, sin embargo, la Iniciativa de Exploración Espacial, a pesar de las claras consignas dictadas desde el poder, fracasó. Cuatro años después de que se impartiera el mandato, la SEI ni siquiera contaba con una oficina de la NASA dedicada a ella. Algunas misiones lunares robóticas de poca envergadura y escaso presupuesto, que de otro modo habrían sido aprobadas sin problemas, fueron canceladas por el Congreso debido a cargos de conciencia asociados con la SEI.

En primer lugar se planteaba el problema del plazo temporal. El proyecto de la SEI se extendía en el futuro a lo largo de cinco periodos de mandatos presidenciales (abarcando de media una presidencia un periodo y medio). Eso facilita que un presidente intente comprometer a sus sucesores, pero deja bastante en la duda lo fiable que pueda ser ese compromiso. SEI contrastaba dramáticamente con el programa Apolo, que —como podía haberse conjeturado cuando se puso en marcha— podía haber triunfado estando el presidente Kennedy o sus inmediatos sucesores todavía ejerciendo el cargo.

En segundo lugar, preocupaba la cuestión de si la NASA, que recientemente había tenido enormes dificultades para lanzar a unos cuantos astronautas a poco más de trescientos kilómetros de la Tierra, sería capaz de enviar astronautas, en una trayectoria arqueada de un año de duración, hacia un destino situado a 160 millones de kilómetros de distancia y conseguir que regresaran con vida.

En tercer lugar, el programa estaba concebido exclusivamente en términos nacionalistas. La cooperación con otras naciones no resultaba fundamental ni para su diseño ni para su ejecución. El vicepresidente Dan Quayle, que poseía la responsabilidad nominal en el tema espacial, justificó la estación espacial como una demostración de que Estados Unidos constituía «la única superpotencia mundial». No obstante, al disponer la Unión Soviética de una estación espacial operativa que se hallaba diez años por delante de la de Estados Unidos, el argumento del señor Quayle difícilmente se sostenía.

Finalmente estaba el asunto de la procedencia, en términos de política práctica, de los fondos necesarios para llevarlo a cabo. Los costes necesarios para hacer llegar a los primeros seres humanos a Marte habían suscitado estimaciones diversas que podían alcanzar hasta los quinientos mil millones de dólares.

Naturalmente, es imposible predecir los costes antes de tener a punto el diseño de la misión. Y éste depende de cuestiones tales como el número de tripulantes, hasta qué punto van a tomarse medidas de precaución ante los peligros que

plantean las radiaciones solar y cósmica, o la gravedad cero, y también qué otros riesgos estamos dispuestos a asumir en relación con las vidas de los hombres y mujeres que han de viajar a bordo. Si cada miembro de la tripulación tiene una especialidad esencial, ¿qué ocurriría si uno de ellos cayera enfermo? Cuanto más numeroso es el equipo, más posibilidad hay de recambio. A buen seguro no mandaríamos a un cirujano dentario de dedicación completa, pero ¿y si necesitamos una operación dentaria y nos encontramos a 160 millones de kilómetros del odontólogo más cercano? ¿O bien podría solucionarlo un especialista en endodoncias desde la Tierra, mediante telemetría?

Wernher von Braun fue el ingeniero nazi americano que nos llevó verdaderamente, más que ninguna otra persona, al espacio. Su libro de 1952 *Das Marsprojekt* («El proyecto Marte») imaginaba una primera misión compuesta de diez naves espaciales interplanetarias, una tripulación de setenta miembros y tres «botes de aterrizaje». La redundancia tenía un papel preeminente en sus concepciones. Los requisitos logísticos, escribió, «no superan los de una operación militar menor sobre un escenario de guerra limitado». El pretendía «acabar de una vez por todas con la teoría del cohete espacial solitario y su pequeña banda de intrépidos aventureros interplanetarios» y apeló al ejemplo de los tres barcos de Colón, sin los cuales y según «tiende a demostrar la historia, éste nunca habría regresado a tierras españolas». Los diseños de las misiones modernas a Marte han ignorado estos consejos. Son mucho menos ambiciosas que la de Von Braun, incluyendo por lo general una o dos naves, tripuladas por un número de astronautas que oscila entre tres y ocho, además de una o dos naves robóticas de carga. El cohete solitario y la pequeña banda de aventureros permanecen todavía entre nosotros.

Otras incertidumbres en relación con el diseño y el coste de la misión estriban en si conviene enviar por delante los suministros de la Tierra y esperar a que hayan aterrizado sin problema para lanzar las naves tripuladas; si hay posibilidad de utilizar materiales marcianos para generar oxígeno para respirar, agua para beber y propelentes para que el cohete pueda enfilar viaje de regreso; si el aterrizaje debe emplear la ligera atmósfera de Marte como freno aerodinámico; la cantidad prudente de equipos de reserva; en qué medida van a emplearse sistemas ecológicos cerrados o se dependerá simplemente de los víveres, agua y sistemas de eliminación de desperdicios traídos desde la Tierra; el diseño de los vehículos ambulantes para la exploración del paisaje de Marte por parte de la tripulación y, finalmente, los equipos que se desea incluir para comprobar nuestra capacidad de supervivencia en el planeta, en viajes posteriores.

Antes de haber decidido estas cuestiones, era absurdo aceptar cualquier cifra de coste para el programa. Por otra parte, estaba claro de todos modos que la SEI iba a resultar extraordinariamente cara. Por todas estas razones, el programa era de entrada un caballo retirado de competición. Nació muerto. La Administración Bush no efectuó ni una sola tentativa eficaz de invertir capital político para ponerlo en marcha.

A mí me parece que la lección está muy clara: puede que no haya manera de mandar seres humanos a Marte en un futuro comparativamente próximo, aun tratándose de algo que entra perfectamente dentro de nuestras capacidades tecnológicas. Los gobiernos no se gastan esas ingentes sumas de dinero solamente para fines científicos o para explorar. Necesitan otros motivos, y hacerlo ha de tener verdadero sentido político.

Quizá resulte imposible ir ahora, pero cuando por fin esté a nuestro alcance, la misión debe ser, en mi opinión, internacional desde el principio, con costes y responsabilidades equitativamente compartidos por todas las naciones en liza; el precio deberá ser razonable; el lapso de tiempo desde su aprobación hasta su lanzamiento deberá encajar dentro de plazos políticos prácticos y las agencias espaciales implicadas tendrán que demostrar su habilidad para organizar misiones de exploración pioneras con tripulaciones humanas, que resulten seguras y funcionen de acuerdo con los plazos establecidos, así como con los presupuestos. Si pudiéramos imaginar una misión así por menos de cien mil millones de dólares y en un plazo desde su aprobación a su lanzamiento de menos de quince años, quizá fuera factible. (En términos de coste, ello representaría solamente una fracción de los presupuestos espaciales civiles anuales de las naciones que hoy disponen de programas para el espacio.) Contando con freno aerodinámico, combustible y oxígeno para el viaje de vuelta fabricados a partir del aire de Marte, ahora parece que un presupuesto y un plazo de tiempo como los mencionados podrían ser verdaderamente realistas.

Cuanto más barata y más rápida sea la misión, mayores riesgos debemos estar dispuestos a asumir en lo que respecta a las vidas de los astronautas y cosmonautas de a bordo. Pero tal como ilustran, entre los numerosos ejemplos existentes, los samurais del Japón medieval, siempre es posible encontrar voluntarios competentes para misiones altamente peligrosas, en lo que es percibido como una gran causa. No hay presupuesto ni plazo de tiempo que resulte fiable cuando nos proponemos llevar a cabo algo a tan gran escala, algo que no se ha hecho nunca antes. Y cuanto más margen pidamos, mayores serán los costes y más tiempo tardaremos en llegar. Hallar el compromiso adecuado entre factibilidad política y éxito de la empresa puede resultar una cuestión bastante delicada.

El hecho de que algunos lo hayamos soñado desde pequeños o de que parezca el objetivo más lógico de exploración a largo plazo no basta para justificar una expedición a Marte. Si estamos hablando de gastar todo ese dinero, deberemos justificar la inversión.

Hoy tenemos planteados otros problemas —necesidades nacionales claras y apremiantes— que no pueden ser solucionados sin la inversión de grandes sumas. Al mismo tiempo, el presupuesto federal discrecional se halla preocupantemente constreñido. La eliminación de venenos químicos y radiactivos, la eficacia energética, las alternativas a los carburantes fósiles, el declive de las tasas de innovación tecnológica, el colapso de las infraestructuras urbanas, la epidemia del

SIDA, una endemoniada mezcla de cánceres, la indigencia, la malnutrición, la mortalidad infantil, la educación, el desempleo, la atención sanitaria... la lista es dolorosamente larga. Ignorarla pondría en peligro el bienestar de la nación. Un dilema similar se plantea en todas las naciones que tienen en marcha un programa espacial.

Buscar una solución para casi todas esas cuestiones podría costar cientos de miles de millones de dólares. Reparar la infraestructura costará varios billones de dólares. Las alternativas a la economía basada en los combustibles fósiles representan claramente una inversión mundial de varios billones, si es que podemos hacerlo. En ocasiones se nos dice que esos proyectos quedan más allá de nuestra capacidad de pago. ¿Cómo podemos entonces permitirnos el lujo de viajar a Marte?

Si el presupuesto federal de Estados Unidos (o los presupuestos de las restantes naciones de la carrera espacial) contara con un veinte por ciento más de fondos discrecionales, probablemente no tendría tantos cargos de conciencia a la hora de defender la oportunidad de una misión espacial tripulada con destino a Marte. Si, en cambio, dispusiera de un veinte por ciento menos de fondos, no creo que ni el más obcecado entusiasta de la aventura espacial se atreviera a abogar por una misión así. A buen seguro existe algún punto en que la economía nacional está atravesando tan terribles apuros que mandar personas a Marte resulta cuando menos inmoral. La cuestión es dónde debe colocarse el límite. Porque está claro que existe un límite, y todos y cada uno de los participantes en estos debates deberían estipular dónde debe situarse ese límite, qué fracción del producto nacional bruto dedicada al programa espacial lo transgrede. Y me gustaría que hiciéramos lo mismo con la partida de «defensa».

Las encuestas de opinión pública demuestran que muchos ciudadanos americanos creen que el presupuesto de la NASA es prácticamente equivalente al de defensa. En realidad, la totalidad del presupuesto de la NASA, incluyendo misiones espaciales humanas y robóticas, así como la aeronáutica, alcanza apenas el cinco por ciento del presupuesto norteamericano de defensa. ¿Qué cantidad invertida en defensa puede decirse que debilita realmente al país? Incluso en el caso de que la NASA fuera eliminada de raíz, ¿liberaríamos los fondos necesarios para solventar nuestros problemas nacionales?

Los vuelos espaciales tripulados en general —por no hablar de las expediciones a Marte— podrían ser defendidos con mayor facilidad si —como en los argumentos de Colón y de Enrique el Navegante, en el siglo XV— llevaran implícito un aliciente lucrativo.

> Aun así no les resultó fácil. El cronista portugués Gomes Eanes de Zurara recoge la siguiente afirmación del príncipe Enrique el Navegante: «Le pareció a su alteza el infante que si él o algún otro príncipe no hacían el esfuerzo para alcanzar ese conocimiento, no habría marinero ni mercader que se atreviera a intentarlo jamás, pues está claro que ninguno de ellos se molestaría nunca en navegar hasta un lugar que no alberga una esperanza segura de extraer provecho.»

Se han adelantado algunos argumentos. El entorno de elevado vacío y baja gravedad o de radiación intensa del espacio cercano a la Tierra podría utilizarse, se dice, para usos comerciales. Este tipo de propuestas quedan en entredicho ante la siguiente incógnita: ¿podrían fabricarse en la Tierra productos comparables o mejores, si los fondos que pudieran destinarse a su desarrollo fueran equivalentes a los que se asignan al programa espacial? A juzgar por las pobres sumas de dinero que las empresas se han mostrado dispuestas a invertir en estas tecnologías —aparte de las que se dedican a la construcción de cohetes y naves espaciales—, las perspectivas, al menos actualmente, no prometen demasiado.

La idea de que materiales raros pudieran estar disponibles en otros lugares queda mitigada al tratarse de grandes cargamentos. Por lo que sabemos, en Titán puede haber océanos de petróleo, pero transportarlo hasta la Tierra resultaría muy caro. Los metales preciosos del grupo del platino pueden ser abundantes en determinados asteroides. Si pudiéramos traer esos asteroides a orbitar la Tierra, quizá podríamos extraerlos convenientemente. Pero, al menos por cuanto hace a un futuro previsible, eso parece peligrosamente imprudente, como me propongo describir más adelante en este libro.

En su clásica novela de ciencia ficción *The man who sold the moon* («El hombre que vendió la Luna»), Robert Heinlein imaginó el motivo lucrativo como clave para los viajes espaciales. No había previsto, sin embargo, que la guerra fría vendería la Luna. Pero reconoció que un argumento lucrativo honesto sería difícil de encontrar. Por ello, Heinlein imaginó la superficie de la Luna salpicada de diamantes, para que futuros exploradores pudieran descubrirlos atónitos y desencadenar una «fiebre» del diamante. Entretanto, sin embargo, hemos traído muestras de la Luna y no hemos dado con ninguna pista que indique la presencia de diamantes de interés comercial.

No obstante, Kiyoshi Kuramoto y Takafumi Matsui, de la Universidad de Tokio, han estudiado cómo se formaron los núcleos centrales de hierro de la Tierra, Venus y Marte, y opinan que el manto (entre corteza y núcleo) de este último planeta debería ser rico en carbono, más rico que la Luna, Venus o la Tierra. A más de trescientos kilómetros de profundidad, las presiones deberían transformar el carbono en diamante. Sabemos que Marte ha estado geológicamente activo a lo largo de su historia. Los materiales que alberga su interior, a gran profundidad, habrían sido expulsados ocasionalmente hacia la superficie, y no solamente a través de los grandes volcanes. Así pues, sí parece posible que haya diamantes en otros mundos, si bien en Marte, no en la Luna. En qué cantidades, de qué calidad y tamaño y en qué lugares, no lo sabemos todavía.

El retorno a la Tierra de una nave espacial cargada de magníficos diamantes de muchos quilates provocaría, sin duda, la depreciación de dichas piedras (así como de las acciones de las corporaciones De Beers y General Electric). Pero dadas las aplicaciones ornamentales e industriales de los diamantes, quizá la caída de los precios se detuviera en un límite determinado. Es de suponer que las empresas afectadas darían con algún motivo para promocionar la exploración pionera de

Marte.

La idea de que los diamantes de Marte puedan pagar la exploración de dicho planeta constituye, en el mejor de los casos, una conjetura a muy largo plazo, pero es también un ejemplo de cuan raras y valiosas sustancias pueden llegar a descubrirse en otros mundos. Aun así, sería una locura fiarse de ese tipo de contingencias. Si lo que pretendemos es justificar las misiones a otros mundos, tendremos que encontrar otras razones.

Más allá de la discusión sobre ganancias y costes, incluso costes reducidos, debemos describir también los beneficios, si es que existen. Los defensores de las misiones humanas a Marte deben clarificar si, a largo plazo, las misiones que allí se dirijan tienen posibilidades de mitigar alguno de los problemas que nos acucian aquí. Consideremos el conjunto de justificaciones estándar y decidamos si las consideramos válidas, no válidas o preferimos no definirnos:

Las misiones humanas a Marte mejorarían de forma espectacular nuestro conocimiento del planeta, incluyendo la investigación acerca de su vida presente y pasada. Es probable que el programa incremente nuestra comprensión del entorno de nuestro propio planeta, como se ha empezado a vislumbrar gracias a las misiones robóticas. La historia de nuestra civilización demuestra que la búsqueda del conocimiento básico constituye la vía a través de la cual se han producido los descubrimientos prácticos más significativos. Las encuestas de opinión sugieren que la argumentación más popular en favor de la «exploración espacial» reside en «la mejora de los conocimientos». Pero *¿es* necesaria la presencia de seres humanos en el espacio para alcanzar dicho objetivo? Las misiones robóticas, de concedérseles alta prioridad nacional y estar equipadas con inteligencia mecánica mejorada, me parecen perfectamente capaces de responder, tan bien como los astronautas, a todas las cuestiones que deseemos plantearles, y quizá tan sólo por un diez por ciento del coste.

Se aduce también que se producirán efectos secundarios —enormes beneficios tecnológicos que de otro modo no verían la luz—, gracias a los cuales se incrementará nuestra competitividad internacional y mejorará nuestra economía doméstica. Pero ése es un argumento trillado: «Gaste ochenta mil millones de dólares (en dinero contemporáneo) para enviar a los astronautas del *Apolo* a la Luna y le obsequiaremos con una estupenda paella antiadherente.» Francamente, si lo que buscamos son paellas, podemos invertir directamente el dinero y ahorrar casi la totalidad de esos ochenta mil millones de dólares.

El argumento es también engañoso por otras razones, una de las cuales radica en que la tecnología Teflon de la DuPont se adelantó notablemente a la misión Apolo. Lo mismo ocurre con el marcapasos cardiaco, el bolígrafo, el Velero y otros supuestos descubrimientos paralelos del programa Apolo. (En una ocasión tuve oportunidad de hablar con el inventor del marcapasos cardiaco, quien casi sufre un accidente coronario mientras me describía la injusticia de lo que él percibió como un intento de la NASA de acaparar el mérito que correspondía a su persona.) Si hay determinadas tecnologías que necesitamos con urgencia, mejor

gastar el dinero preciso para desarrollarlas. ¿Qué falta hace ir a Marte para conseguirlo?

Como es lógico, resultaría impensable que, con tanta tecnología nueva como requiere la NASA, no cayera de vez en cuando alguna migaja en la economía general, algunos inventos útiles aquí en casa. Por ejemplo, el zumo de naranja en polvo denominado Tang fue un producto del programa espacial tripulado, y también ha habido descubrimientos paralelos en el ámbito de los aparatos inalámbricos, los desfibriladores cardiacos implantados, los trajes con refrigeración líquida y la imagen digital, por mencionar unos cuantos. Pero éstos apenas justifican los viajes tripulados a Marte o la existencia de la NASA.

Podíamos ver el viejo motor del invento jadeando y resoplando en los días del declive de la Guerra de las Galaxias, en la era Reagan. «Los láser de rayos X movidos por bomba de hidrógeno en estaciones orbitales de combate contribuirán a perfeccionar la cirugía láser», nos vendían. Pero si necesitamos cirugía láser, si se trata de una importante prioridad nacional, aportemos de todos modos los fondos para desarrollarla. Dejemos aparte la Guerra de las Galaxias. La justificación por medio de los descubrimientos paralelos constituye un modo de admitir que el programa no se sostiene por sí solo, que no puede justificarse mediante el propósito por el que originalmente fue vendido.

En su día estaba bastante extendida la opinión, basada en modelos econométricos, de que por cada dólar invertido en la NASA se inyectaban muchos dólares en la economía norteamericana. Si este efecto multiplicador fuera más válido para la NASA que para la mayor parte de agencias gubernamentales, proporcionaría una potente justificación fiscal y social para el programa espacial. Los defensores de la NASA no fueron tímidos a la hora de echar mano de este argumento. No obstante, un estudio de 1994 de la Oficina de Presupuestos del Congreso reveló que eso era falso. Si bien es cierto que el gasto de la NASA beneficia a algunos sectores de producción de la economía norteamericana —especialmente a la industria aeroespacial—, no provoca un efecto multiplicador preferente. Asimismo, mientras el gasto de la NASA, ciertamente, crea o mantiene puestos de trabajo y ganancias, no lo hace de manera más eficaz que muchas otras agencias gubernamentales.

Luego está la educación, un argumento que, de vez en cuando, se ha revelado muy atractivo en la Casa Blanca. Los doctorados en ciencias alcanzaron un punto álgido en algún momento de la época del *Apolo 11,* quizá incluso durante la fase de divulgación, posterior al inicio del programa. Tal vez no quede demostrada la relación causa-efecto, aunque resulta plausible. Pero *¿y* qué? Si estamos interesados en mejorar la educación, ¿acaso es viajar a Marte el camino idóneo para ello? Pensemos en lo que se podría hacer con cien mil millones de dólares dedicados a formación y salarios para el profesorado, a laboratorios y bibliotecas escolares, a becas para estudiantes de baja condición económica, a equipos de investigación y ayudas de posgrado. ¿Realmente es cierto que la mejor manera de promover la educación científica radica en viajar a Marte?

Otro argumento se basa en que las misiones humanas a Marte proporcionarán ocupación al complejo militar-industrial, diluyendo la tentación de emplear su considerable músculo político para exagerar amenazas externas y conseguir el incremento del presupuesto de defensa. La otra cara de esta particular moneda reside en que, viajando a Marte, mantenemos una capacidad tecnológica sostenida que podría ser importante en caso de futuras contingencias militares. Naturalmente, podríamos simplemente pedirles a esos chicos que hicieran algo directamente útil para la economía civil. Pero, como tuvimos ocasión de comprobar en los años setenta con los autobuses Grumman y los trenes regionales Boeing/Vertoil, la industria aeroespacial tiene auténticas dificultades para producir de forma competitiva para la economía civil. Ciertamente, un tanque puede cubrir 1500 kilómetros al año y un autobús 1500 kilómetros a la semana, de modo que sus diseños básicos deben ser distintos. No obstante, al menos en cuestiones de fiabilidad, el Departamento de Defensa parece ser mucho menos exigente.

La colaboración en el ámbito espacial, como he mencionado anteriormente, se está convirtiendo en un instrumento de cooperación internacional, por ejemplo en lo que se refiere al freno a la proliferación de armas estratégicas en naciones que todavía no las poseen. Los cohetes que dejaron de encargarse a causa del final de la guerra fría podrían ser provechosamente empleados en misiones a la órbita de la Tierra, la Luna, los planetas, asteroides y cometas. Pero todo ello puede conseguirse prescindiendo de los viajes tripulados a Marte.

Se brindan también otro tipo de justificaciones. Una de ellas es que la solución definitiva a los problemas energéticos del mundo pasa por extraer las reservas de la Luna, devolver a la Tierra el helio-3 implantado allí por el viento solar y utilizarlo en reactores de fusión. Pero ¿qué reactores de fusión? Aunque eso fuera posible, incluso si resultara rentable, se trata de una tecnología a cincuenta o cien años vista. Nuestros problemas energéticos deben ser solucionados a un ritmo menos ocioso.

Todavía más extraño resulta el argumento de que hemos de mandar seres humanos al espacio para solventar la crisis de la superpoblación. Resulta que cada día nacen nada menos que 250000 personas más de las que mueren, lo cual significa que tendríamos que lanzar al espacio 250000 personas diarias a fin de mantener la población mundial en sus niveles actuales. Parece que eso queda del todo fuera de nuestras posibilidades actuales.

Reviso la lista y trato de añadir pros y contras, teniendo en cuenta las demás demandas urgentes que contempla el presupuesto federal. En mi opinión, el razonamiento nos aboca hacia la pregunta siguiente: ¿puede la suma de gran número de justificaciones individualmente insuficientes resultar en una justificación suficiente?

No creo que ninguno de los puntos de mi lista de supuestas justificaciones pueda valer de forma demostrable quinientos mil o incluso cien mil millones de dólares, y a buen seguro no a corto plazo. Por otra parte, es evidente que la

mayoría de ellos valen algo, y si tengo cinco puntos, cada uno de los cuales pueda valer veinte mil millones de dólares, quizá llegue a los cien mil. Si lo hacemos bien a la hora de reducir costes y forjar una auténtica cooperación internacional, las justificaciones adquieren un peso mayor.

Hasta que se haya producido un debate nacional sobre el tema, hasta que tengamos una idea más clara de la razón de ser y de la relación coste/beneficio de las misiones humanas a Marte, ¿qué debemos hacer? Sugiero que persigamos la investigación y el desarrollo de proyectos que puedan justificarse por sus propios méritos o por su relevancia para alcanzar otros objetivos, pero que puedan a la vez contribuir a dichas misiones espaciales, por si más adelante nos decidimos a ponerlas en marcha. En una agenda así se incluiría:

- La presencia de astronautas norteamericanos en la estación espacial rusa *Mir,* con el fin de llevar a cabo vuelos conjuntos de duración gradualmente más larga, hasta alcanzar el objetivo de uno o dos años, el tiempo de vuelo hasta Marte.
- Configuración de la estación espacial internacional, de tal modo que su función principal sea el estudio de los efectos a largo plazo del entorno espacial sobre los seres humanos.
- Puesta en marcha prioritaria en la estación espacial internacional de un módulo de «gravedad artificial» rotatorio o atado para otros animales y posteriormente también para seres humanos.
- Intensificación de los estudios sobre el Sol, incluyendo la distribución de un grupo de sondas robot en órbita alrededor del mismo, a fin de controlar la actividad solar y proporcionar lo antes posible aviso a los astronautas acerca de los peligrosos «estallidos solares», eyecciones masivas de electrones y protones de la corona solar.
- Desarrollo multilateral y Estados Unidos/Rusia de la tecnología de cohetes Energiya y Protón para los programas espaciales norteamericanos e internacionales. Si bien es improbable que Estados Unidos dependa principalmente de una lanzadera soviética, Energiya proporciona aproximadamente la misma capacidad propulsora que el Saturn V que mandó a los astronautas del *Apolo* a la Luna. Estados Unidos dejó morir la línea de montaje del Saturn V, y ahora no resulta fácil resucitarla. La Protón es la lanzadera de grandes dimensiones más fiable actualmente en servicio. Y Rusia está deseosa de vender esta tecnología a cambio de moneda firme.
- Proyectos conjuntos con la NASDA (agencia espacial japonesa) y la Universidad de Tokio, con la Agencia Espacial Europea y con la Agencia Espacial Rusa, además de con Canadá y otras naciones. En la mayoría de los casos deberían establecerse consorcios igualitarios, y que no fuera Estados Unidos quien insistiera en lanzar las iniciativas. En lo que respecta a la exploración robótica de Marte, ya están funcionando programas de ese tipo. Para los vuelos humanos, la principal actividad es claramente la estación espacial internacional. Finalmente, podríamos incluir la puesta en marcha de

programas conjuntos para misiones planetarias simuladas en el nivel inferior de la órbita terrestre. Uno de los objetivos fundamentales de estos programas debería ser el desarrollo de una tradición de excelencia técnica cooperativa.

- Desarrollo tecnológico —empleando los elementos más avanzados en robótica e inteligencia artificial— de vehículos espaciales, globos y aviones para la exploración de Marte, y ejecución de la primera misión internacional de recogida de muestras en dicho planeta. Las naves espaciales robóticas necesarias pueden probarse en asteroides cercanos a la Tierra y en la Luna. Las muestras recogidas en regiones de la Luna cuidadosamente seleccionadas pueden analizarse para determinar su edad, y contribuir de manera fundamental a nuestra comprensión de la historia primitiva de la Tierra.
- Desarrollo de las tecnologías destinadas a fabricar combustible y oxidantes a partir de materiales de Marte. Una estimación, basada en un prototipo diseñado por Robert Zubrin y colegas en la Martin Marietta Corporation, apunta que varios kilos de suelo marciano pueden ser transportados automáticamente a la Tierra utilizando un modesto y fiable lanzador Delta, y además por cuatro chavos (comparativamente hablando).
- Simulaciones en la Tierra de viajes de larga duración a Marte, centradas en el estudio de potenciales problemas sociales y psicológicos. Enérgico fomento del desarrollo de nuevas tecnologías, como la velocidad de propulsión constante, para acortar en lo posible el viaje a Marte; ello puede resultar esencial si se determina que los peligros de la microgravedad o la radiación hacen demasiado arriesgados los vuelos de un año (o más) de duración.
- Estudio intensivo de los asteroides cercanos a la Tierra, que pueden proporcionar mejores objetivos de escalas de tiempo intermedias que la Luna.
- Mayor énfasis en la ciencia, incluyendo las ciencias básicas que subyacen a la exploración del espacio, y análisis concienzudo de los datos de que ya disponemos, tanto a cargo de la NASA como por parte de otras agencias espaciales.

Estas recomendaciones no suponen más que una fracción del coste total de una misión humana con destino a Marte y —extendidas a lo largo de toda una década y llevadas a cabo conjuntamente con otras naciones— tampoco representan más que una porción de los actuales presupuestos espaciales. No obstante, en caso de ponerlas en práctica, nos ayudarían a realizar minuciosas estimaciones de costes y una valoración más ajustada de los peligros y beneficios.

Nos permitirían, asimismo, mantener un vigoroso progreso en pos de las expediciones humanas a Marte, sin necesidad de asumir prematuramente compromisos respecto a ningún tipo de hardware específico para la misión. La mayor parte, tal vez todas esas recomendaciones, poseen otras justificaciones, aun para el caso de que estuviéramos seguros de no ser capaces de mandar seres humanos a ningún otro mundo durante las próximas décadas. Además, el eco constante de los logros que incrementen las posibilidades del viaje humano a Marte combatiría —al menos en las mentes de muchos— el extendido pesimismo

frente al futuro.

Pero hay algo más. Existe un conjunto de argumentos menos tangibles, muchos de los cuales, lo admito sin reservas, me parecen atractivos y resonantes. Los vuelos espaciales están relacionados con algo muy profundo que albergamos en nuestro interior muchos de nosotros, si no todos. Una perspectiva cósmica emergente, una mejorada comprensión de nuestro lugar en el universo, un programa muy notorio que afecta a nuestra visión de nosotros mismos y que podría clarificar la fragilidad de nuestro entorno planetario, y el peligro y responsabilidad común de todas las naciones y personas de la Tierra. Asimismo, las misiones humanas a Marte proporcionarían una perspectiva esperanzadora, rica en aventuras, para los espíritus viajeros de entre nosotros, especialmente para los jóvenes. Incluso la exploración indirecta reviste una utilidad social.

Me encuentro una y otra vez, cuando doy conferencias sobre el futuro del programa espacial —en universidades, empresas y grupos militares, así como organizaciones profesionales—, con que las audiencias tienen mucha menos paciencia ante los obstáculos prácticos, políticos y económicos del mundo real de la que tengo yo. Se muestran ansiosos por despejar todos los impedimentos, por recuperar los días de gloria del *Vostok* y del *Apolo,* por que se retome la cuestión y puedan pisarse de nuevo otros mundos. «Ya lo hemos hecho antes, podemos hacerlo de nuevo», no cesan de repetir. Pero me prevengo a mí mismo de que las personas que acuden a este tipo de conferencias suelen ser selectos entusiastas del espacio.

En 1969, menos de la mitad de la población norteamericana opinaba que el coste del programa *Apolo* valió la pena. No obstante, con ocasión del vigesimoquinto aniversario del aterrizaje en la Luna la cifra se había incrementado hasta los dos tercios. A pesar de los problemas, el 63 % de los ciudadanos norteamericanos valoran que la NASA ha llevado a cabo un trabajo entre bueno y excelente. En lo que se refiere a los costes, el *55 %* de los preguntados (de acuerdo con una encuesta de CBS News) se mostraron a favor de que «Estados Unidos envíen astronautas a explorar Marte». Entre los jóvenes, la cifra alcanzaba el 68%. Me parece que «explorar» es la palabra clave.

No es casual que, a pesar de sus humanos defectos, y de lo moribundo que parece en la actualidad el programa espacial tripulado (una tendencia que la misión de reparación del telescopio espacial *Hubble* puede haber ayudado a invertir), los astronautas y cosmonautas todavía son unánimemente considerados héroes de nuestra especie. Una científica compañera mía me contaba un reciente viaje que realizó a la meseta de Nueva Guinea, donde visitó una tribu todavía en la edad de piedra que apenas había tenido contactos con la civilización. Ignoraban lo que son los relojes de pulsera, las bebidas refrescantes y los alimentos congelados. Pero conocían el *Apolo 11.* Sabían que los humanos han pisado la Luna. Les eran familiares los nombres de Armstrong, Aldrin y Collins. Estaban muy interesados en saber quién está visitando la Luna en nuestros días.

Los proyectos orientados al futuro que, pese a las dificultades políticas que

plantean, podrían completarse en alguna década lejana, constituyen recordatorios permanentes de que va a haber un futuro. El hecho de poner un pie en otros mundos nos susurra al oído que somos más que pictos, servios o tongas: somos humanos.

Los vuelos espaciales de exploración colocan las nociones científicas, el pensamiento científico y el vocabulario científico ante el ojo público. Elevan el nivel general de indagación intelectual. La idea de que ahora hemos comprendido algo que nunca había captado nadie con anterioridad, ese regocijo —especialmente intenso para los científicos implicados, pero perceptible para casi todo el mundo— se propaga en el seno de la sociedad, rebota en sus muros y regresa a nosotros. Nos estimula a solventar problemas de otros ámbitos, que tampoco habían hallado nunca solución. Incrementa el grado de optimismo de la sociedad. Da rienda suelta a esa clase de pensamiento crítico que tanto necesitamos, si queremos resolver temas sociales hasta ahora intratables. Contribuye a estimular a una nueva generación de científicos. A mayor presencia de la ciencia en los medios de comunicación —especialmente si se describen los métodos, las conclusiones y sus implicaciones— más sana es, según mi parecer, la sociedad. La gente de todas partes siente ansias de comprender.

Cuando era niño, mis sueños más exultantes se centraban en el hecho de volar, pero no mediante algún tipo de máquina, sino yo solito. Saltaba y saltaba, y poco a poco se iba elevando mi trayectoria. Cada vez tardaba más en regresar al suelo, hasta que me encontraba ya tan alto que no volvía a bajar. Luego descendía, como una gárgola en un nicho, sobre la cúspide de un rascacielos o me posaba suavemente sobre una nube. En el sueño —que debo haber tenido, en sus múltiples variaciones, al menos un centenar de veces— conseguir alzar el vuelo requería una determinada propensión mental. Resulta imposible describirlo con palabras, pero todavía hoy recuerdo cómo iba. Había que desencadenar algo dentro de la cabeza y en la boca del estómago, y entonces te elevabas únicamente mediante fuerza de voluntad; surcabas el aire, con las extremidades colgando flaccidamente.

Sé que muchas personas han tenido sueños similares. Quizá la mayoría de la gente. Tal vez debamos remontarnos diez millones de años atrás, cuando nuestros antepasados saltaban con elegancia de rama en rama, en los bosques primitivos. El deseo de volar como los pájaros motivó a muchos de los pioneros de la aviación, incluidos Leonardo da Vinci y los hermanos Wright. Quizá también eso forme parte del atractivo de los vuelos espaciales.

En órbita alrededor de cualquier mundo o en los vuelos interplanetarios somos literalmente ingrávidos. Podemos propulsarnos hasta el techo de la nave con un leve impulso desde el suelo. Podemos ir dando tumbos en el aire siguiendo el largo eje del vehículo espacial. Los seres humanos experimentamos placer en estado de ingravidez; eso es algo en lo que coinciden prácticamente todos los astronautas y cosmonautas. Pero como las naves todavía son pequeñas y los «paseos» espaciales se han realizado con extremada precaución, ningún ser

humano ha podido todavía disfrutar de esta maravilla: autopropulsarnos mediante un impulso casi imperceptible, sin máquina alguna que nos dirija y sin ataduras, y elevarnos hacia el cielo, al negro espacio interplanetario. Nos convertiríamos así en un satélite viviente de la Tierra o en un planeta humano del Sol.

La exploración planetaria satisface nuestra inclinación por las grandes empresas, los viajes y la indagación, que nos ha acompañado desde nuestros días como cazadores y recolectores en las sabanas del este de África, un millón de años atrás. Por casualidad —pues es posible, afirmo yo, imaginar muchas marañas de causalidad históricas según las cuales esto no habría ocurrido—, en nuestra época podemos empezar de nuevo.

La exploración de otros mundos hace uso, precisamente, de las mismas cualidades de audacia, planificación, cooperación y coraje que encarnan lo más valorado en la tradición militar. Ya no se trata de aquella noche del lanzamiento de una nave *Apolo* con destino a otro mundo. Eso predetermina la conclusión. Basta con ser testigos del despegue, desde una plataforma adyacente, de unos cuantos F-14, verlos inclinarse graciosamente a izquierda y derecha, arder sus quemadores auxiliares, y súbitamente hay algo que nos arrebata, al menos a mí. Ningún tipo de conocimiento acerca de los potenciales abusos que puedan cometer las fuerzas de los portaaviones consigue afectar a la profundidad de ese sentimiento. Simplemente está apelando a otra parte de nosotros. No repara en recriminaciones ni consideraciones políticas. Sólo quiere volar.

«Yo... tenía la ambición no solamente de llegar más lejos de lo que nadie había llegado hasta entonces —escribió el capitán James Cook, el explorador del Pacífico del siglo XVIII—, sino de ir tan lejos como le fuera posible a un hombre.» Dos siglos más tarde, Yuri Romanenko, de regreso a la Tierra tras lo que entonces era el viaje espacial más largo de la historia, dijo: «El cosmos es un imán... Una vez has estado allí, sólo puedes pensar en la manera de volver a él.»

Incluso Jean-Jacques Rousseau, que no era entusiasta de la tecnología, se dio cuenta de ello:

> Las estrellas se encuentran muy por encima de nosotros; necesitamos un saber preliminar, instrumentos y máquinas, que son como tantas inmensas escaleras que nos permiten acercarnos a ellas y ponerlas al alcance de nuestra comprensión.

«Las posibilidades futuras de los viajes espaciales», escribió el filósofo Bertrand Russell en 1959,

> ... que ahora están fundamentalmente reservadas a fantasías infundadas, podrían tratarse con mayor sobriedad sin dejar de ser interesantes y demostrarían, incluso al más intrépido de los jóvenes, que un mundo sin guerras no tiene que ser necesariamente un mundo carente de gloriosas aventuras y peligros.* Esta clase de

* Vale la pena destacar la frase de Russell: «gloriosas aventuras y peligros». Aunque fuéramos capaces de llevar a cabo vuelos espaciales tripulados libres de riesgos —y naturalmente no lo somos— ello podría resultar contraproducente. El peligro es un componente inseparable de la gloria.

> competición no tiene límites. Cada victoria constituye solamente el preludio de otra, y a la esperanza racional no se le pueden poner fronteras.

A largo plazo, éstas —más que ninguna otra justificación «práctica» de las anteriormente comentadas— pueden ser las razones que nos impulsen a viajar a Marte y a otros mundos. Entretanto, el paso más importante que podemos dar hacia Marte estriba en progresar de manera significativa en la Tierra. Incluso mejoras modestas en lo que respecta a los problemas sociales, económicos y políticos que tiene planteados en la actualidad nuestra civilización global podrían liberar enormes recursos, tanto materiales como humanos, para destinarlos a otras metas.

Hay mucho trabajo doméstico por hacer aquí en la Tierra, y nuestro compromiso debe ser firme. Pero somos la clase de especie que precisa de una frontera, por razones biológicas fundamentales. Cada vez que la Humanidad se despereza y da la vuelta a una nueva esquina, recibe una sacudida de vitalidad productiva que puede impulsarla durante siglos.

Hay un mundo nuevo esperando en la esquina. Y nosotros sabemos cómo llegar a él.

CAPÍTULO 17

LA RUTINA DE LA VIOLENCIA INTERPLANETARIA

Es ley de la naturaleza que la Tierra y todos los demás cuerpos deben permanecer en los puestos que les corresponden, pudiendo ser desplazados de ellos
solamente a través de la violencia.
ARISTÓTELES, *Física* (384-322 a.J.C.)

Hay una anécdota curiosa en torno a Saturno. Cuando en 1610 Galileo utilizó el primer telescopio astronómico del mundo para contemplar dicho planeta —por aquel entonces, el mundo más distante conocido—, descubrió que tenía dos apéndices, uno a cada lado. Él los comparó con dos «asas». Otros astrónomos los llamaron «orejas». El cosmos encierra multitud de maravillas, pero un planeta con asas de tinaja es demasiado. Galileo se fue a la tumba sin que se hubiera resuelto este extraño misterio. A medida que fueron pasando los años, los observadores se dieron cuenta de que las orejas... bueno, crecían y menguaban. Finalmente, quedó claro que lo que había descubierto Galileo era un anillo extraordinariamente delgado que rodea a Saturno por su ecuador, sin tocar el planeta en ningún punto. Algunos años, debido a las cambiantes posiciones orbitales de la Tierra y Saturno, se había visto el anillo de perfil y, dada su extremada finura, daba la impresión de que había desaparecido. Otros años, en cambio, había sido observado más de cara y las «orejas» parecían más grandes. Pero ¿qué significa que haya un anillo alrededor de Saturno? ¿Un delgado disco sólido, plano, con un agujero en medio para que cupiera el planeta? ¿Cómo se explicaba una cosa así?

Esta línea de indagación nos lleva rápidamente a las colisiones que despedazan mundos, a dos peligros notablemente distintos para nuestra especie, y a razonar que —además de por los motivos ya descritos— para nuestra propia supervivencia es necesario que tomemos posiciones ahí afuera, entre los planetas.

Hoy sabemos que los anillos (enfáticamente en plural) de Saturno se componen de una vasta horda de minúsculos mundos, cada uno de ellos en su propia órbita, cada uno ligado a Saturno por la gravedad del gigantesco planeta. En lo que a sus medidas se refiere, estos retazos de mundo van desde finas partículas de polvo hasta alcanzar el tamaño de una casa. Ninguno es lo suficientemente grande como para ser fotografiado, ni siquiera en acercamientos muy próximos. Espaciados

formando un exquisito conjunto de finos círculos concéntricos, algo así como los surcos de un disco (aunque, en realidad, claro está, tienen forma espiral), los anillos fueron captados por primera vez en toda su majestuosidad por las dos naves espaciales *Voyager,* en sus encuentros exteriores de 1980-1981. En nuestro tiempo, los anillos Art decó de Saturno se han convertido en un icono del futuro.

En una reunión científica, a fines de los años sesenta, fui requerido para resumir los problemas más destacados en el ámbito de la ciencia planetaria. Uno, sugerí yo, era la cuestión de por qué de entre todos los planetas solamente Saturno poseía anillos. Esa, según puso posteriormente de manifiesto el *Voyager,* era una cuestión baladí. *Los cuatro* planetas gigantes de nuestro sistema solar —Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno— poseen anillos. Pero en aquel momento nadie lo sabía.

Cada sistema de anillos tiene sus características distintivas. El de Júpiter es fino y está hecho principalmente de partículas oscuras muy pequeñas. Los brillantes anillos de Saturno, por su parte, se componen básicamente de agua helada; en este caso se observan miles de anillos separados, algunos retorcidos, con extrañas marcas negruzcas en forma de radio generándose y disipándose. Los oscuros anillos de Urano parecen estar compuestos de carbono elemental y moléculas orgánicas, algo así como carbón de leña y hollín; Urano posee nueve anillos principales, unos pocos de los cuales parecen a veces «respirar», pues se expanden y se contraen. Los anillos de Neptuno son los más finos de todos, variando tanto en espesor que, cuando se detectan desde la Tierra, aparecen solamente como arcos y círculos incompletos. Muchos anillos parecen mantenerse por los tirones gravitatorios de dos lunas errantes, una un poco más cerca y la otra un poco más lejos del planeta que el anillo. Cada sistema de anillos presenta, pues, su propia belleza sobrenatural.

¿Cómo se forman los anillos? Una posibilidad son las mareas: si un mundo errante transita junto a un planeta, el hemisferio más cercano del intruso es más atraído gravitatoriamente por el planeta que su cara alejada; en caso de que se acerque lo suficiente, si su cohesión interna fuera baja, puede que se hiciera literalmente añicos. Ocasionalmente podemos contemplar cómo ocurre eso a los cometas cuando pasan demasiado cerca de Júpiter, o del Sol. Otra posibilidad, que se puso de manifiesto a partir del reconocimiento efectuado por el *Voyager* del sistema solar exterior, es la siguiente: los anillos se forman cuando los mundos colisionan y las lunas son hechas trizas. Ambos mecanismos pueden haber jugado su papel.

El espacio entre los planetas es atravesado por una esporádica colección de cuerpos errantes, cada uno de ellos en órbita alrededor del Sol. Algunos son tan grandes como un condado entero o incluso como un estado, mientras que otros muchos presentan áreas de superficie comparables a la de un pueblo o ciudad. Se encuentran mayor cantidad de mundos pequeños que grandes, y la gama llega hasta el ínfimo tamaño de las partículas de polvo. Algunos de ellos viajan en largas trayectorias elípticas que los llevan periódicamente a cruzar la órbita de uno o más planetas.

A veces, desafortunadamente, hallan un mundo en su camino. La colisión puede destrozar y pulverizar a ambos, al intruso y a la luna que sufre el impacto (al menos la zona del territorio directamente debajo de la explosión). Los escombros resultantes —eyectados de la luna, pero que no se mueven con la rapidez suficiente como para escapar de la gravedad del planeta— pueden crear, temporalmente, un nuevo anillo. Éste estará formado por el material que componía los dos cuerpos que entraron en colisión, pero normalmente contiene en mayor medida materiales de la luna que del objeto errante que provocó el impacto. Si los cuerpos que colisionan son mundos helados, el resultado se concretará en anillos de partículas de hielo; si están formados por moléculas orgánicas, se originarán anillos de partículas orgánicas (que lentamente serán procesados por la radiación para formar carbono). Toda la masa en los anillos de Saturno no excede a la que resultaría de la pulverización completa por impacto de una única luna helada. La desintegración de lunas pequeñas puede, asimismo, ser la causa de los sistemas de anillos de los otros tres planetas gigantes.

A menos que se encuentre muy cercana a su planeta, una luna diseminada va reacumulándose de forma gradual (o al menos lo hace una fracción importante de la misma). Las piezas, grandes y pequeñas, próximas a la órbita en que se hallaba la luna antes del impacto, se van reagregando sin orden ni concierto. Lo que antes era un pedazo de núcleo ahora se encuentra en la superficie y viceversa. La mezcolanza resultante puede tener un aspecto muy original. Miranda, una de las lunas de Urano, tiene una apariencia desconcertantemente accidentada y puede haber tenido ese origen.

El geólogo planetario norteamericano Eugene Shoemaker propone que muchas lunas del sistema solar exterior fueron aniquiladas y formadas de nuevo, no sólo en una, sino en numerosas ocasiones cada una, a lo largo de los 4500 millones de años desde que el Sol y los planetas se condensaron a partir de gas y polvo interestelar. La imagen que emerge del reconocimiento que efectuó el *Voyager* del sistema solar exterior es la de una serie de mundos, cuyas plácidas y solitarias vigilias son espasmódicamente interrumpidas por intrusos del espacio; de colisiones devastadoras de mundos, y de lunas formándose de nuevo a partir de los escombros, renaciendo como aves fénix a partir de sus propias cenizas.

No obstante, una luna que vive junto a un planeta no puede volver a formarse si ha sido pulverizada, pues las mareas gravitatorias del mismo lo impiden. Los escombros resultantes, una vez diseminados en el interior de los sistemas de anillos, pueden ser muy duraderos, al menos si lo comparamos con la duración estándar de una vida humana. Tal vez muchas de las pequeñas e indiscernibles lunas que hoy orbitan a los planetas gigantes evolucionarán un día hasta formar vastos y hermosos anillos.

Estas ideas se apoyan en la apariencia de gran número de satélites del sistema solar. Fobos, la luna interior de Marte, presenta un gran cráter denominado Stickney; Mimas, una luna interior de Saturno, posee también uno de grandes dimensiones llamado Herschel. Estos cráteres —al igual que los que posee nuestra

propia Luna y los que se encuentran por todo el sistema solar— fueron producidos por colisiones. Un intruso choca contra un mundo más grande y provoca una inmensa explosión en el punto de impacto. Ésta excava un cráter en forma de ensaladera y el objeto más pequeño implicado en la colisión queda destruido. Si los intrusos que formaron los cráteres Stickney y Herschel hubieran sido solamente algo más grandes, habrían tenido energía suficiente para romper en pedazos Fobos y Mimas. Esas lunas escaparon por los pelos a las destructivas consecuencias de la bola cósmica de derribos. Muchas otras no tuvieron tanta suerte.

Cada vez que un mundo recibe un impacto, queda en el espacio un intruso menos; es algo así como un concurso de demolición a la escala del sistema solar, una guerra de desgaste. El mismo hecho de que se hayan producido muchas de estas colisiones significa que los pedazos de mundo errantes se han consumido en una cantidad elevada. Los que viajan en trayectorias circulares alrededor del Sol, los que no cruzan las órbitas de otros mundos, es poco probable que lleguen a chocar nunca contra un planeta. Pero los que siguen trayectorias muy elípticas, los que sí atraviesan las órbitas de otros planetas, tarde o temprano colisionarán o, tras escapar por los pelos a ese destino, serán eyectados gravitacionalmente fuera del sistema solar.

Se tiene prácticamente la certeza de que los planetas se acumularon a partir de pedazos de mundo que, a su vez, se habían condensado a partir de una gran nube plana de polvo y gas que rodeaba al Sol, el mismo tipo de nube que hoy se observa alrededor de estrellas jóvenes cercanas. Así pues, en la historia primitiva del sistema solar, antes de que las colisiones despejaran el panorama, tuvo que haber muchísimos más mundos de los que hoy podemos ver.

En realidad, tenemos pruebas inequívocas de ello delante de nuestras propias narices: si contamos los cuerpos intrusos en el espacio de nuestro vecindario, podemos estimar con qué frecuencia chocarán con la Luna. Supongamos muy modestamente que la población de intrusos nunca ha sido más pequeña de lo que es en la actualidad. Podemos entonces calcular cuántos cráteres debería haber en la Luna. El número que obtenemos resulta ser muy inferior al número de cráteres que, efectivamente, vislumbramos en las devastadas mesetas de la Luna. La inesperada profusión de cráteres sobre la Luna nos habla de una época primitiva en la que el sistema solar atravesaba un período de inusitada agitación, revolviéndose en la abundancia de mundos con trayectorias de colisión. Y ello tiene perfecto sentido, pues precisamente se formaron a partir de la agregación de trozos de mundo más pequeños, los cuales asimismo habían crecido a partir del polvo interestelar. Cuatro mil millones de años atrás, los impactos lunares eran cientos de veces más frecuentes que hoy; y 4500 millones de años atrás, cuando los planetas estaban todavía incompletos, las colisiones se producían quizá mil millones de veces más a menudo que en nuestra sosegada época actual.

El caos pudo haber sido mitigado por muchos más flamantes sistemas de anillos que los que adornan los planetas en la actualidad. Si éstos poseían en esa época pequeñas lunas, es posible que la Tierra, Marte y los demás planetas pequeños

estuvieran provistos de anillos.

La explicación más satisfactoria en relación con el origen de nuestra propia Luna, basada en su composición química (revelada por las muestras que aportaron las misiones Apolo), sostiene que se formó hace casi 4500 millones de años, cuando un mundo del tamaño de Marte colisionó con la Tierra. Gran parte del manto rocoso de nuestro planeta quedó reducido a polvo y gas calientes, y salió disparado al espacio. Posteriormente, algunos de los escombros, en órbita alrededor de la Tierra, fueron reacumulándose gradualmente, átomo por átomo, roca por roca.* Si ese desconocido mundo causante del impacto hubiera sido solamente un poco más grande, el resultado habría sido la destrucción total de la Tierra. Puede que en otras épocas hubiera otros mundos en nuestro sistema solar —quizá incluso mundos con presencia de vida— que sufrieron el impacto de algún endemoniado objeto celeste, fueron demolidos por completo y no ha quedado de ellos el menor indicio.

Por consiguiente, la imagen del sistema solar primigenio que paulatinamente va dibujándose, en nada se parece a una solemne procesión de eventos destinados a formar la Tierra. En su lugar, parece que nuestro planeta se originó y sobrevivió por una afortunada casualidad, en medio de increíbles escenas de violencia. Nuestro mundo no parece haber sido esculpido por un maestro en el arte. Una vez más, no existen indicios de un universo hecho para nosotros.

La provisión cada vez menor de pedazos de mundo recibe hoy en día distintas denominaciones: asteroides, cometas, lunas pequeñas. Pero se trata de categorías arbitrarias, los auténticos trozos de mundo son capaces de quebrar estas clasificaciones concebidas por el hombre. Algunos asteroides (la palabra significa «parecidos a las estrellas», aunque desde luego no lo son) son rocosos, otros metálicos y aún hay otros ricos en materia orgánica. Ninguno supera los mil kilómetros de diámetro. Se alojan principalmente en un cinturón entre las órbitas de Marte y Júpiter. Los astrónomos pensaban en su día que los asteroides del «cinturón principal» eran los restos de un mundo demolido, pero, tal como he descrito, hoy parece estar más en boga otra idea: el sistema solar estuvo una vez lleno de mundos similares a los asteroides, algunos de los cuales formaron los planetas. Únicamente en el cinturón de asteroides, cerca de Júpiter, las mareas gravitatorias de este planeta más masivo impidieron que los escombros adyacentes se unieran para formar un mundo nuevo. Los asteroides, en lugar de representar a un mundo que alguna vez existió, parecen ser los bloques constructivos de un mundo destinado a no existir nunca.

De tamaño inferior a un kilómetro puede que existan varios millones de asteroides, pero en ese enorme volumen de espacio interplanetario, incluso esa cantidad es demasiado insignificante para plantear un peligro serio a las naves espaciales de camino hacia el sistema solar exterior. Los primeros asteroides del cinturón principal, Gaspra e Ida, fueron fotografiados, en 1991 y 1993

* De no haber sido así, quizá hoy habría otro planeta, más cerca o más lejos del Sol, sobre el cual otros seres bastante distintos estarían intentando reconstruir *sus* orígenes.

respectivamente, por la nave *Galileo* en su sinuoso viaje a Júpiter.

Los asteroides del cinturón principal suelen, en su mayor parte, quedarse en casa. Para investigarlos, estamos obligados a ir a visitarlos, tal como hizo *Galileo.* Los cometas, por su parte, acuden en ocasiones a hacernos una visita, como hizo el cometa Halley muy recientemente, en 1910 y 1986. Los cometas están compuestos básicamente de hielo, además de roca y material orgánico en cantidades mucho menores. Cuando se calientan, el hielo se vaporiza formando las largas y hermosas colas, desplazadas hacia atrás por el viento solar y la presión de la luz del Sol. Tras pasar varias veces junto al Sol, el hielo se ha evaporado por completo, dejando en ocasiones tras de sí un mundo muerto de roca y materia orgánica. Otras veces las partículas que quedan, habiendo desaparecido el hielo que las mantenía unidas, se esparcen por la órbita del cometa, generando un sendero de escombros alrededor del Sol.

Cada vez que un fragmento de masa cometaria del tamaño de un grano de arena penetra en la atmósfera de la Tierra a gran velocidad, se quema, produciendo una momentánea estela de luz que los observadores terrestres denominan meteorito esporádico o bien «estrella fugaz». Algunos cometas que están desintegrándose poseen órbitas que cruzan la de la Tierra. Por ello, cada año, la Tierra, en su permanente circunnavegación del Sol, se sumerge también en cinturones de escombros cometarios orbitales. Tenemos entonces ocasión de presenciar una lluvia de meteoros, o incluso una tormenta de meteoros, durante la cual los cielos resplandecen con las partes del cuerpo de un cometa. Por ejemplo, la lluvia de meteoros Perseidas, que puede observarse cada año hacia el 12 de agosto, procede de un cometa moribundo llamado Swift-Tuttle. Pero la belleza de una lluvia de meteoros no debe llamarnos a engaño: hay un continuo que conecta a esos resplandecientes visitantes de nuestros cielos nocturnos con la destrucción de mundos.

Algunos asteroides sueltan de vez en cuando pequeñas emanaciones de gas o incluso forman temporalmente una cola, lo cual sugiere que se hallan en fase de transición entre la condición de cometa y asteroide. Algunas lunas pequeñas que giran alrededor de los planetas son probablemente cometas o asteroides capturados; las lunas de Marte y los satélites exteriores de Júpiter pueden pertenecer a esta categoría.

La gravedad se encarga de pulir cualquier cosa que sobresalga demasiado. Pero solamente en cuerpos muy grandes resulta suficiente como para provocar el colapso de montañas y otras proyecciones bajo su propio peso, redondeando los contornos del mundo en cuestión. Y verdaderamente, cuando contemplamos sus formas, casi siempre nos encontramos con que los pedazos de mundo de pequeñas dimensiones son deformes, irregulares, en forma de patata.

Hay astrónomos cuya idea de lo que es pasar un buen rato consiste en permanecer en vela hasta el amanecer de una fría noche sin luna, tomando fotos del cielo, el mismo cielo que fotografiaron el año anterior... y también el anterior a ése. «Si ya les había salido bien la última vez, ¿por qué lo repiten?», podríamos

preguntarnos. La respuesta es que el cielo cambia. En cualquier año dado puede haber cuerpos celestes completamente desconocidos, nunca vistos hasta entonces, que se acerquen a la Tierra, y que pueden ser espiados por esos pertinaces observadores.

El *25* de marzo de 1993, un grupo de cazadores de cometas y asteroides, contemplando la cosecha fotográfica de una noche intermitentemente nubosa en el monte Palomar, en California, descubrieron en la película una pálida mancha alargada. Se encontraba cerca de un objeto muy brillante en el cielo, el planeta Júpiter. Carolyn y Eugene Shoemaker y David Levy pidieron entonces a otros observadores que le echaran un vistazo. La mancha resultó ser algo asombroso: unos veinte pequeños objetos brillantes orbitando alrededor de Júpiter, uno detrás de otro, como perlas en un collar. Colectivamente reciben el nombre de cometa Shoemaker-Levy 9 (ésta es la novena ocasión en que estos colaboradores descubren juntos un cometa periódico).

No obstante, llamar cometa a esos objetos puede inducir a equívoco. Había todo un enjambre de los mismos, probablemente los fragmentados restos de un solo cometa que hasta ahora no ha sido descubierto. Orbitó en silencio alrededor del Sol durante cuatro mil millones de años antes de pasar demasiado cerca de Júpiter y ser capturado, posiblemente unas cuantas décadas atrás, por la gravedad del planeta más grande del sistema solar. El 7 de julio de 1992 fue despedazado por las mareas gravitatorias del mismo.

Debemos conceder que la cara interior de un cometa de estas características sería atraída hacia Júpiter con algo más de fuerza que la exterior, pues lógicamente la primera se halla más cercana al planeta que la segunda. La diferencia del tirón es ciertamente pequeña. Nuestros pies se encuentran algo más cerca del centro de la Tierra que nuestra cabeza, pero ello no es motivo para que la gravedad de la Tierra nos rompa en pedazos. Para que la marea ocasionara tal grado de destrucción, el cometa original debía de estar muy débilmente cohesionado. Pensamos que antes de la fragmentación era una masa muy poco compacta de hielo, roca y materia orgánica, de unos diez kilómetros de diámetro, aproximadamente.

La órbita de este cometa destruido pudo determinarse con gran precisión. Entre el 16 y el 22 de julio de 1994 todos los fragmentos cometarios, uno tras otro, colisionaron con Júpiter. Las piezas más grandes tenían al parecer unos pocos kilómetros de diámetro. Sus impactos contra dicho planeta fueron espectaculares.

Nadie sabía de antemano qué efectos iban a tener sobre la atmósfera y las nubes de Júpiter esos múltiples impactos. Tal vez los fragmentos cometarios, rodeados de halos de polvo, eran mucho más pequeños de lo que parecían. O quizá ni siquiera eran cuerpos cohesionados, sino que presentaban una mínima consistencia, algo así como un montón de gravilla con todas sus partículas viajando juntas por el espacio en órbitas prácticamente idénticas. Si alguna de estas posibilidades era cierta, Júpiter se tragaría los fragmentos sin dejar rastro. Otros astrónomos defendían la opinión de que, como mínimo, iban a formarse resplandecientes bolas de fuego y penachos gigantescos cuando los fragmentos cometarios se

sumergieran dentro de la atmósfera del planeta. Y aun otro grupo sugería que la densa nube de finas partículas que acompañaba los fragmentos del cometa Shoemaker-Levy 9 hacia el planeta Júpiter destruiría su magnetosfera o bien formaría un nuevo anillo.

Se calcula que un cometa de estas dimensiones debe impactar con Júpiter solamente una vez cada mil años. No se trataba del acontecimiento astronómico de una vida, sino de una docena. Desde la invención del telescopio no ha ocurrido nada de tal envergadura. De modo que, a mediados de julio de 1994, en un esfuerzo científico internacional muy bien coordinado, telescopios de toda la Tierra y también del espacio enfocaron Júpiter.

Los astrónomos tardaron más de un año en prepararse. Se efectuó una estimación de la trayectoria de los fragmentos en su órbita alrededor de Júpiter y se descubrió que todos ellos iban a chocar con el planeta. Se refinaron también las predicciones en cuanto al momento en que el evento debía producirse. La decepción fue grande cuando los cálculos revelaron que todos los impactos tendrían lugar en el hemisferio nocturno de Júpiter, la cara invisible desde la Tierra (aunque accesible a las naves *Galileo* y *Voyager* en el sistema solar exterior). Felizmente, no obstante, todas las colisiones se producirían sólo pocos minutos antes del amanecer joviano, antes de que la zona impactada fuera trasladada por la rotación de Júpiter hasta la línea visual desde la Tierra.

Llegó y pasó el momento calculado para el impacto de la primera pieza, el fragmento A. No hubo informes de los telescopios basados en la Tierra. Los científicos planetarios contemplaban con creciente desaliento un monitor de televisión que reproducía los datos transmitidos por el telescopio espacial Hubble al Instituto de Ciencias Telescópicas de Baltimore. No se veía nada anormal. Los astronautas del transbordador dejaron momentáneamente de lado la reproducción de las moscas de la fruta, de los peces y de las salamandras para observar Júpiter a través de sus binoculares. Según informaron, no percibían nada extraño. El impacto del milenio empezaba a adquirir visos de fiasco monumental.

De pronto se recibió un informe del telescopio óptico de La Palma, en las islas Canarias, seguido de varios avisos procedentes de un radiotelescopio en Japón; también llegaron noticias del observatorio Europeo del Sur, en Chile, así como de un instrumento de la Universidad de Chicago, ubicado en los helados páramos del polo sur. En Baltimore, los jóvenes científicos que se agolpaban alrededor del monitor de televisión —siendo ellos mismos retransmitidos por las pantallas de la CNN— comenzaron a percibir algo y, además, en el lugar indicado de Júpiter. La consternación se tornó en perplejidad y luego en alborozo. Estaban como locos de contento, chillando y saltando sin parar. Amplias sonrisas se extendieron por la sala. Descorcharon el champán. Se trataba de un grupo de jóvenes científicos americanos —de aspecto tan sano como los integrantes del coro de una iglesia, y siendo mujeres alrededor de un tercio de los mismos, incluyendo a la líder del equipo, Heidi Hammel—, pero viéndolos, cabría imaginar a jóvenes de todo el mundo pensando que ser científico debe de ser divertido, una buena profesión o,

incluso, una vía de realización espiritual.

De casi todos los fragmentos, los observadores situados en algún punto de la Tierra vimos elevarse la bola de fuego, tan rápido y tan alto, que pudo ser contemplada a pesar de que la zona de impacto quedaba todavía en el lado oscuro de Júpiter. Los penachos ascendían y luego se aplanaban, quedando en forma de tortas. Percibimos también ondas gravitatorias y de sonido, extendiéndose a partir del punto de impacto, así como, en el caso de los fragmentos más grandes, un parche descolorido que alcanzaba la dimensión de la Tierra.

Chocando contra Júpiter a sesenta kilómetros por segundo (210000 kilómetros por hora), los fragmentos grandes convirtieron su energía cinética parcialmente en ondas de choque y parcialmente en calor. La temperatura en la bola de fuego fue estimada en miles de grados. Algunas de las bolas y penachos de fuego resplandecían más que todo el resto del planeta Júpiter.

¿Cuál podía ser la causa de las manchas oscuras que quedaban tras el impacto? Podría tratarse de materia de las nubes profundas de Júpiter —de la región generalmente no visible para los observadores terrestres— que emergió y se extendió. No obstante, los fragmentos no parecen haber penetrado a tanta profundidad. O quizá las moléculas responsables de las manchas se hallaran en los fragmentos cometarios desde el principio. Gracias a las misiones soviéticas *Vega 1 y 2* y a la misión Giotto de la Agencia Espacial Europea —ambas con destino al cometa Halley— sabemos que los cometas pueden estar compuestos hasta en una cuarta parte por moléculas orgánicas complejas. Ellas son la causa de que el núcleo del cometa Halley sea completamente negro. Si una parte de la materia orgánica cometaria sobrevivió a los sucesos de impacto, puede que fuera responsable de la mancha. O, finalmente, la mancha podría ser debida a materia orgánica no suministrada por los fragmentos cometarios que impactaron, sino sintetizada por sus ondas de choque a partir de la atmósfera de Júpiter.

La colisión de los fragmentos del cometa Shoemaker-Levy 9 con Júpiter fue presenciada en siete continentes. Incluso los astrónomos aficionados con telescopios pequeños pudieron contemplar los penachos y la subsiguiente decoloración de las nubes jovianas. Al igual que los eventos deportivos son cubiertos desde todos los ángulos por cámaras de televisión distribuidas por el campo de juego y también desde un dirigible que lo sobrevuela, seis naves espaciales de la NASA desplegadas por el sistema solar, con diferentes especialidades observacionales, registraron esta nueva maravilla: el telescopio espacial *Hubble,* el *International Ultraviolet Explorer,* y el *Extreme Ultraviolet Explorer* en la órbita terrestre; la nave *Ulysses,* robando tiempo a su investigación del polo sur del Sol; *Galileo,* de camino a su propio encuentro con Júpiter y el *Voyager 2,* situado ya mucho más allá de Neptuno, en su trayectoria hacia las estrellas. A medida que se van acumulando y analizando datos, nuestros conocimientos acerca de los cometas, de Júpiter y de las violentas colisiones de los mundos deberían mejorar de forma sustancial.

Para muchos científicos —pero especialmente para Carolyn y Eugene

Shoemaker y David Levy— había algo conmovedor en ese salto de los fragmentos cometarios, uno detrás del otro, a una muerte segura en Júpiter. Habían vivido con ese cometa, por decirlo de alguna manera, durante dieciséis meses, lo habían visto descomponerse, y habían contemplado cómo sus trozos, envueltos en nubes de polvo, jugaban al escondite y se diseminaban por sus órbitas. En cierto modo, cada fragmento tenía su propia personalidad. Ahora todos ellos se han desvanecido, convertidos en moléculas y átomos en las capas altas de la atmósfera del planeta más grande del sistema solar. En cierto modo sentimos pesar por ellos. Pero también aprendemos de sus valientes muertes. Nos reconforta saber que quedan todavía cientos de billones de ellos en el rico tesoro de mundos que representa el Sol.

Hay unos doscientos asteroides conocidos, cuyas trayectorias los llevan cerca de la Tierra. Son debidamente llamados «asteroides cercanos a la Tierra». Su apariencia detallada (como la de sus primos del cinturón de asteroides) indica de forma inmediata que son productos de una violenta historia colisional. Muchos de ellos pueden ser los fragmentos y restos de pedazos de mundo que habían sido más grandes.

Con algunas excepciones, los asteroides cercanos a la Tierra tienen solamente unos pocos kilómetros de diámetro o ni siquiera llegan a eso, y tardan entre uno y unos pocos años en efectuar su circuito alrededor del Sol. Un veinte por ciento de los mismos tienen posibilidades de colisionar tarde o temprano con nuestro planeta, con consecuencias devastadoras. (Pero en astronomía, la expresión «tarde o temprano» puede abarcar hasta miles de millones de años.) La aseveración atribuida a Cicerón de que «nada casual o fruto del azar» puede encontrarse en un cielo absolutamente ordenado y regular constituye un profundo error. Incluso hoy, tal como nos recuerda el encuentro del cometa Shoemaker-Levy con Júpiter, se produce rutinariamente violencia interplanetaria, aunque no a la escala que marcó la historia primitiva del sistema solar.

Al igual que los asteroides del cinturón principal, muchos asteroides cercanos a la Tierra están hechos de roca. Algunos son fundamentalmente de metal, y se ha sugerido que llevar uno de esos asteroides a orbitar la Tierra y explotar su minería de forma sistemática podría reservarnos una enorme recompensa, una montaña de metal de elevada pureza flotando a unos cientos de kilómetros sobre nuestras cabezas. Ya sólo el valor de los metales del grupo del platino que podría contener uno de esos mundos se ha estimado en varios billones de dólares, si bien está claro que su precio de mercado caería en picado, si aumentara de forma espectacular la oferta de este tipo de materiales. Se están estudiando métodos para extraer metales y minerales de los asteroides que lo permitan; por ejemplo, por John Lewis, un científico planetario de la Universidad de Arizona.

Algunos asteroides cercanos a la Tierra son ricos en materia orgánica, aparentemente preservada desde los mismos comienzos del sistema solar. Steven Ostro, del Laboratorio de Propulsión a Chorro, ha descubierto que algunos de esos asteroides son dobles, dos cuerpos en contacto. Tal vez un mundo más grande se

partiera en dos al pasar a través de las fuertes mareas gravitatorias de un planeta como Júpiter; más interesante todavía es la posibilidad de que dos mundos en órbitas similares sufrieran una leve colisión y quedaran pegados. Ese proceso pudo ser clave en la formación de los planetas y también de la Tierra. Al menos uno de los asteroides conocidos (Ida, visto por la nave *Galileo)* tiene su pequeña luna propia. Cabría suponer que dos asteroides en contacto y dos asteroides orbitándose el uno al otro poseen orígenes relacionados.

En ocasiones, se oye decir que un asteroide ha efectuado un «escape por los pelos». (¿Por qué lo llamamos «escape» cuando queremos decir «choque»?) Pero entonces leemos con mayor atención y resulta que lo más que se acercó a la Tierra fue a una distancia de cientos de miles o millones de kilómetros. Eso no cuenta, es demasiado lejos, incluso más que la Luna. Si dispusiéramos de un inventario de todos los asteroides cercanos a la Tierra, incluyendo los que son considerablemente más pequeños que un kilómetro de diámetro, podríamos proyectar sus órbitas en el futuro y predecir cuáles resultan potencialmente peligrosos para nosotros. Más grandes que un kilómetro de diámetro se estima que hay unos dos mil, de los cuales solamente hemos observado un reducido porcentaje. Mas grandes que cien metros de diámetro puede haber quizá unos doscientos mil.

Los asteroides cercanos a la Tierra llevan nombres mitológicos evocativos: Orfeo, Hator, Icaro, Adonis, Apolo, Cerbero, Kufu, Amor, Tántalo, Atena, Midas, RaSalom, Faetón, Tutatis, Quetzalcóatl. Unos cuantos ofrecen un potencial exploratorio especial, por ejemplo Nereo. En general, resulta mucho más fácil llegar a ellos y volver que ir y regresar de la Luna. Nereo, un mundo minúsculo de cerca de un kilómetro de diámetro, es uno de los más accesibles.*

Supondría una auténtica exploración de un mundo verdaderamente nuevo.

Algunos seres humanos (todos ellos de la antigua Unión Soviética) ya han vivido en el espacio durante periodos superiores al tiempo que exigiría un viaje de ida y vuelta a Nereo. La tecnología de cohete necesaria para llevarlo a cabo existe ya. Se trata de un paso mucho más pequeño del que representaría viajar a Marte, o incluso, en ciertos aspectos, volver a la Luna. Sin embargo, si algo saliera mal, no podríamos regresar a la Tierra para ponernos a salvo en unos pocos días. En ese aspecto, su nivel de dificultad se sitúa en algún punto entre el viaje a Marte y el viaje a la Luna.

De las muchas posibles misiones futuras a Nereo, hay una que tarda diez meses en llegar desde la Tierra, pasa treinta días allí y luego requiere solamente tres semanas para regresar a casa. Podríamos visitar Nereo con robots o bien, si nos lo proponemos, con humanos. Podríamos examinar la forma, constitución, interior, historia pasada, composición química orgánica, evolución cósmica y posible relación con cometas de este pequeño mundo. Podríamos también traer muestras

* El asteroide 1991 JW tiene una órbita muy parecida a la de la Tierra y es todavía más sencillo de alcanzar que el 4660 Nereo. No obstante, su órbita parece *demasiado* similar a la de la Tierra como para ser un objeto natural. Tal vez se trate de algún módulo superior del cohete Saturn V Apolo con destino a la Luna.

del mismo para analizarlas a placer en los laboratorios de la Tierra. Podríamos investigar si contiene realmente recursos de valor comercial —metales o minerales—. Si es que de verdad hemos de enviar alguna vez seres humanos a Marte, los asteroides cercanos a la Tierra proporcionan un objetivo intermedio conveniente y apropiado para probar los protocolos de equipamiento y exploración, al mismo tiempo que estudiamos un pequeño mundo desconocido, prácticamente, por completo. Sería una manera de calentar de nuevo los motores, cuando estemos dispuestos a enfilar otra vez el océano cósmico.

CAPÍTULO 18

EL PANTANO DE CAMARINA

Ya es tarde para hacer mejoras ahora. El universo está concluido;
la clave está en su sitio, y se han llevado en carro los escombros hace un millón de años.
HERMAN MELVILLE, *Moby Dick, cap*. 2 (1851)

Camarina era una ciudad del sur de Sicilia, fundada por colonos de Siracusa en el año 598 a J.C. Al cabo de una o dos generaciones, se vio amenazada por una epidemia de peste, incubada, según sostenían algunos, en un pantano adyacente. (Aunque, ciertamente, la teoría de la enfermedad por gérmenes no era aceptada de manera general, ya se apuntaban algunos indicios; por ejemplo, el aportado por Marcus Varro en el siglo 1 a. J.C, quien había advertido explícitamente en contra de construir ciudades en las proximidades de pantanos, «pues son caldo de cultivo de unas criaturas diminutas que nuestros ojos no pueden ver, pero que flotan en el aire y penetran en el cuerpo por la boca y la nariz, causando graves infecciones».) Un serio peligro acechaba, pues, a la ciudad de Camarina. Por ello se hicieron planes para drenar el pantano. Sin embargo, al consultar al oráculo, éste prohibió que se llevara a término tal resolución, aconsejando en su lugar paciencia. Pero como había vidas en juego, se decidió ignorar al oráculo y abordar el drenaje de la ciénaga. Pronto pudo contenerse la epidemia. Desgraciadamente ya era demasiado tarde cuando los habitantes de Camarina se dieron cuenta de que el pantano los había protegido hasta entonces de sus enemigos, entre los cuales debían contarse ahora sus primos, los ciudadanos de Siracusa. Como sucedería en América 2300 años después, los colonos se habían peleado con la madre patria. En el año 552 a. J.C, las fuerzas de Siracusa cruzaron las tierras secas, antes inundadas por el lodo, masacraron a hombres, mujeres y niños y arrasaron la ciudad. El pantano de Camarina se convirtió en un símbolo de cómo es posible que por eliminar un peligro se cree otro mucho peor.

La colisión del cretáceo-terciario (o colisiones, ya que pudo haber más de una) ejemplifica el peligro que representan los cometas y asteroides. A consecuencia de dicho impacto un fuego de dimensiones mundiales redujo a cenizas la vegetación por todo el planeta; una nube de polvo estratosférica oscureció el cielo, hasta tal punto que las plantas supervivientes tuvieron dificultades para seguir viviendo de la fotosíntesis; las temperaturas se tornaron gélidas en toda la Tierra, que se vio afectada por lluvias torrenciales de ácidos cáusticos, por una reducción masiva de la capa de ozono y, para colmo, cuando nuestro mundo se había curado ya de

tantas agresiones, sufrió un prolongado calentamiento a causa del efecto invernadero (pues, al parecer, el impacto principal volatilizó una profunda capa de carbonatos sedimentarios, liberando al aire enormes cantidades de anhídrido carbónico). No fue pues una catástrofe individual, sino un desfile de catástrofes, una concatenación de horrores. Los organismos que habían quedado debilitados por uno de los desastres sucumbieron al siguiente. No sabemos si nuestra civilización actual sobreviviría a una colisión de este tipo, aunque fuera considerablemente menos enérgica.

Al existir muchos más asteroides pequeños que grandes, por lo general las colisiones con la Tierra serán causadas por los primeros. Pero cuanto más tiempo estemos dispuestos a esperar, más devastador puede ser el impacto. Por término medio, una vez cada pocos cientos de años la Tierra es alcanzada por un objeto de unos setenta metros de diámetro; la energía liberada a consecuencia de la colisión equivale a la explosión del arma nuclear más potente que nunca se haya lanzado. Cada diez mil años nos golpea un objeto de doscientos metros, que podría provocar serias consecuencias climáticas regionales, y cada millón de años se produce el impacto de un cuerpo de más de dos kilómetros de diámetro, equivalente a casi un millón de megatones de TNT, una explosión que desencadenaría una catástrofe global, eliminando a una porción significativa de la especie humana (a menos que se tomaran precauciones sin precedentes). Un millón de megatones de TNT corresponden a cien veces la potencia explosiva de todas las armas nucleares que hay sobre el planeta, detonadas de forma simultánea. Y, dejando pequeña incluso a esa hecatombe, dentro de unos cien millones de años cabe esperar un suceso similar al del cretáceo-terciario, el impacto de un mundo de diez kilómetros de diámetro o aun mayor. La potencia destructiva latente en un asteroide cercano de grandes dimensiones pone en ridículo a cualquier artefacto que pueda inventar la especie humana. Como demostraron por primera vez el científico planetario americano Christopher Chyba y sus colaboradores, los asteroides o cometas pequeños, de algunas decenas de metros de diámetro, se rompen y carbonizan al penetrar en nuestra atmósfera. Comparativamente, la alcanzan con relativa frecuencia, pero no producen daños significativos. Tenemos alguna idea de con qué asiduidad penetran en la atmósfera de la Tierra, gracias a una serie de datos no clasificados del Departamento de Defensa, obtenidos por satélites especiales que controlan permanentemente nuestro planeta, en busca de explosiones nucleares clandestinas. Parece que en el transcurso de los últimos veinte años se han producido impactos de cientos de pequeños fragmentos de mundo (y al menos uno de un cuerpo más grande). No causaron daños, pero debemos estar muy seguros de que somos capaces de distinguir entre la colisión de un pequeño cometa o asteroide y una explosión nuclear en la atmósfera.

Los impactos amenazadores para nuestra civilización requieren cuerpos celestes de varios cientos de metros de diámetro, o más (cien metros viene a ser la longitud de un campo de fútbol). Estas colisiones se producen aproximadamente una vez

cada doscientos mil años. Nuestra civilización tiene solamente unos diez mil años de antigüedad, de modo que no hay razón para que conservemos en nuestra memoria institucional el último impacto de esas características. Y lo cierto es que no lo tenemos registrado.

La sucesión de violentas explosiones que provocó sobre Júpiter el cometa Shoemaker-Levy 9 en julio de 1994 nos recuerda que esa clase de colisiones ocurren realmente en nuestro tiempo, y que el impacto de un cuerpo de unos pocos kilómetros de diámetro puede diseminar escombros en un área tan grande como la Tierra. Fue una especie de premonición.

La misma semana del impacto del Shoemaker-Levy, el Comité para la Ciencia y para el Espacio de la Cámara de Representantes de Estados Unidos elaboró un proyecto de legislación que requiere a la NASA, «en coordinación con el Departamento de Defensa y las agencias espaciales de otros países», para que identifique y determine las características orbitales de todos los «cometas y asteroides de más de un kilómetro de diámetro» que se aproximen a la Tierra. El trabajo deberá estar concluido para el año 2005. Muchos científicos planetarios ya habían reivindicado anteriormente un programa de investigación de esas características. Pero fue necesario escuchar el grito agónico de un cometa para que por fin se llevara a la práctica.

Repartidos en el tiempo, los peligros de la colisión de asteroides no parecen demasiado preocupantes. Pero si se produjera un impacto de grandes proporciones ocasionaría una catástrofe sin precedentes para la Humanidad. Aproximadamente, existe una posibilidad entre dos mil de que se dé una colisión de esa envergadura durante la vida de un recién nacido actual. La mayoría de nosotros rehusaríamos volar en avión si las posibilidades de accidente afectaran a uno de cada dos mil vuelos. (En realidad, en vuelos comerciales, la posibilidad es una entre dos millones. Y aun así, son muchos los que consideran esa proporción suficiente como para preocuparse, o incluso para contratar una póliza de seguros.) Cuando nuestra vida está en juego, a menudo cambiamos de comportamiento para procurarnos unas circunstancias más favorables. Y entre los que no lo hacen se observa una mayor tendencia a que no se encuentren ya en este mundo.

Tal vez sería recomendable ir practicando la cuestión de cómo llegar a esos pedazos de mundo y apartarlos de sus órbitas, por si algún día se presentara la necesidad de hacerlo. A pesar de lo que dijera Melville, quedan todavía sueltas algunas de las fichas de la creación, y es evidente que hay que hacer algo al respecto. Siguiendo caminos paralelos y sólo levemente interconectados, la comunidad de la ciencia planetaria y los laboratorios norteamericanos y rusos de armas nucleares, conscientes de los escenarios antes descritos, han venido planteándose las siguientes cuestiones: cómo inspeccionar todos los objetos interplanetarios de grandes dimensiones cercanos a la Tierra, cómo caracterizar su naturaleza física y química, cómo predecir cuáles podrían encontrarse, en un futuro, en una trayectoria de colisión con la Tierra y, finalmente, cómo evitar que se produzca el impacto.

El pionero ruso de los vuelos espaciales Konstantin Tsiolkovsky sostuvo hace un siglo que debía de haber cuerpos de un tamaño intermedio entre los grandes asteroides observados y los fragmentos de asteroide —los meteoritos— que ocasionalmente se precipitan sobre la Tierra. En sus escritos apuntó la posibilidad de vivir en asteroides pequeños del espacio interplanetario. Él no contemplaba sus posibles aplicaciones militares. No obstante, a principios de los años ochenta, a algunos miembros de los círculos armamentísticos norteamericanos se les ocurrió que los soviets podían estar pensando en emplear asteroides cercanos a la Tierra como proyectiles de impacto; el presunto plan fue bautizado como «el Martillo de Iván». Había que tomar medidas preventivas de inmediato. Al mismo tiempo, se sugirió que quizá no fuera mala idea que Estados Unidos aprendiera también cómo utilizar pequeños mundos a modo de armas. La Organización de Defensa mediante Misiles Balísticos del Departamento de Defensa, sucesora de la oficina de la «Guerra de las Galaxias» de los ochenta, lanzó una innovadora nave con el nombre de *Clementine* a fin de que orbitara la Luna y se acercara al asteroide Geographos. (Tras completar un exhaustivo reconocimiento de la Luna, en mayo de 1994, la nave falló antes de poder alcanzar Geographos.)

En principio, cabe la posibilidad de hacerlo mediante motores de cohetes grandes, impactos por proyectil o equipando al asteroide con paneles reflectores gigantes y empujándolo a fuerza de luz solar o con potentes haces de láser desde la Tierra. No obstante, con la tecnología que en este momento tenemos a nuestro alcance, solamente hay dos maneras. La primera consistiría en que uno o más proyectiles nucleares de gran potencia hicieran estallar el asteroide o cometa en pedazos, que se desintegrarían y atomizarían al penetrar en la atmósfera de la Tierra. Si el pedazo de mundo ofensor sólo estuviera débilmente cohesionado, quizá unos pocos cientos de megatones bastarían. Como teóricamente no hay un límite superior para la potencia explosiva de un arma termonuclear, parece que en los laboratorios de fabricación de armas hay quien considera que hacer bombas aún más potentes no solamente constituye un desafío excitante, sino también un método para hacer cambiar de talante a los engorrosos defensores del medio ambiente, al conseguir que las armas nucleares ocupen un puesto en el carro de los abanderados del lema «Salvemos la Tierra».[*]

Otra aproximación al problema, que se discute con mayor seriedad, resulta menos dramática, aunque contribuye igualmente a mantener el *establishment* armamentístico, y se concreta en un plan para alterar la órbita de cualquier cuerpo

---

[*] El Tratado del Espacio Exterior, al cual están adheridos tanto Estados Unidos como Rusia, prohíbe el uso de armas de destrucción masiva en el «espacio exterior». La tecnología de desviación de asteroides constituye precisamente una de esas armas, pues es en realidad el arma de destrucción masiva más potente que jamás se haya diseñado. Los interesados en desarrollar dicha tecnología pretenderán que se revise el tratado. Pero aun en el caso de que éste no fuera modificado, si se descubriera un asteroide de grandes dimensiones cuya trayectoria revelara una futura colisión con la Tierra, es de suponer que las sutilezas de la diplomacia internacional no representarían ningún obstáculo. Sin embargo, si relajamos la prohibición de emplear dichas armas en el espacio, existe el peligro de que podamos volvernos menos atentos en lo que respecta al posicionamiento con propósitos ofensivos de cabezas nucleares en el espacio.

errante haciendo explotar armas nucleares en sus cercanías. Las explosiones (por lo general, en el punto más cercano del asteroide con el Sol) van encaminadas a desviarlo de la Tierra.

Una ráfaga de proyectiles nucleares de baja potencia, proporcionando cada uno un pequeño empujón en la dirección deseada, sería suficiente para desviar un asteroide de tamaño medio, recibiéndose el aviso con unas pocas semanas de antelación. El Método ofrece también, o al menos eso se espera, una solución para hacer frente a un cometa de largo periodo detectado de forma repentina en una trayectoria de inminente colisión con la Tierra: el cometa sería interceptado mediante un asteroide pequeño. (No hace falta decir que este juego de billar celeste resulta incluso más difícil e incierto —y por ello mucho menos práctico en un futuro próximo— que el acorralamiento, con meses o incluso años por delante, de un asteroide en una órbita conocida y que haga gala de buenos modales.)

Desconocemos los efectos que puede tener sobre un asteroide una explosión nuclear adyacente. La respuesta puede variar de unos a otros. Algunos pequeños mundos pueden ser muy compactos, mientras que otros constituyen poco más que pilas de gravilla con gravedad propia. Si una explosión quiebra, pongamos por caso, un asteroide de diez kilómetros en cientos de fragmentos de un kilómetro, la posibilidad de que al menos uno de ellos impacte con la Tierra se verá probablemente incrementada, y el carácter apocalíptico de las consecuencias no quedará atenuado. Por otra parte, si la explosión descompone el asteroide en multitud de objetos de cien metros de diámetro o menos, puede que todos ellos se desintegren como meteoritos gigantes al penetrar en la atmósfera de nuestro planeta. En ese caso causarían pocos daños por impacto. No obstante, aunque el asteroide resultara completamente pulverizado, la capa de polvo que se originaría a gran altura podría ser tan opaca como para bloquear la luz solar e inducir un cambio climático. Por el momento, desconocemos sus posibles consecuencias.

Hasta aquí se ha ofrecido una visión que coloca docenas o cientos de misiles nucleares a punto para hacer frente a asteroides o cometas amenazadores. Aun siendo prematura en esta aplicación concreta, esta visión resulta muy familiar; solamente ha cambiado el enemigo. También parece muy peligrosa.

El problema, según sugerimos Steven Ostro, del JPL, y yo, es que si somos capaces de desviar de forma fiable un cuerpo interplanetario amenazador para que no colisione con la Tierra, también podemos desviar con garantías un cuerpo inofensivo a fin de que impacte contra la Tierra. Supongamos que dispusiéramos de un inventario completo, con sus órbitas incluidas, de los trescientos mil asteroides cercanos que se estima tienen más de cien metros, cada uno de ellos lo suficientemente grande como para producir consecuencias serias en caso de colisión con nuestro planeta. Además, imaginemos que también obra en nuestro poder la lista de un número enorme de asteroides inofensivos, cuyas órbitas son susceptibles de ser alteradas mediante cabezas nucleares con el objetivo de que colisionen rápidamente con la Tierra.

Continuemos suponiendo que centramos nuestra atención en los

aproximadamente dos mil asteroides cercanos de un kilómetro o más de diámetro, es decir, los que presentan más probabilidades de causar una catástrofe global. En la actualidad, con sólo unos cien de esos objetos catalogados, nos llevaría cerca de un siglo seleccionar uno fácilmente desviable hacia la Tierra y alterar su órbita. Creemos que hemos encontrado uno, un asteroide todavía sin nombre, hasta ahora conocido como 1991 OA.

¿Cómo deberíamos llamar a ese mundo? Parece inadecuado bautizarlo con los nombres de las parcas, las furias o de Némesis, pues se halla enteramente en nuestras manos que haga o no blanco en la Tierra. Si no lo tocamos, errará el tiro. Si lo empujamos de forma precisa y certera, dará en el blanco. Quizá deberíamos llamarlo la «bola negra».

En el año 2070, este mundo, de cerca de un kilómetro de diámetro, se acercará a unos 4,5 millones de kilómetros de la órbita terrestre, solamente quince veces la distancia que nos separa de la Luna. Para desviar el 1991 OA de forma que impacte con la Tierra solamente es necesario detonar correctamente el equivalente a sesenta megatones de TNT, esto es, la cantidad correspondiente a un número habitualmente disponible de cabezas nucleares.

Ahora imaginemos que llega un momento, dentro de unas décadas, en que todos estos asteroides cercanos están debidamente inventariados con sus respectivas órbitas. Entonces, tal como hemos demostrado Alan Harris, del JPL, Greg Canavan, del laboratorio Nacional de Los Alamos, Ostro y yo mismo, puede que sólo nos lleve un año seleccionar un objeto adecuado, alterar su órbita y mandarlo a chocar contra la Tierra produciendo efectos cataclísmicos.

Toda la tecnología que requeriría una empresa así —grandes telescopios ópticos, detectores sensibles, sistemas de propulsión de cohetes capaces de poner en órbita unas pocas toneladas de carga y de efectuar un encuentro preciso en el espacio cercano, y armas termonucleares— ya existe en la actualidad. Y cabe esperar mejoras en todos esos factores, exceptuando quizá el último de ellos. Si no nos andamos con tiento, muchas naciones pueden disponer de esas capacidades en las próximas décadas. ¿Qué clase de mundo habremos logrado entonces?

Tenemos tendencia a minimizar los peligros de las nuevas tecnologías. Un año antes del desastre de Chernobyl, un ministro comisionado de la industria nuclear soviética fue preguntado sobre la seguridad de los reactores nucleares en su país, y eligió Chernobyl como un ejemplo de seguridad. El plazo medio de tiempo hasta el desastre, estimó confiado, era de cien mil años. Pero antes de que transcurriera un año... llegó la devastación. Similares garantías de seguridad fueron ofrecidas por contratistas de la NASA el año anterior al desastre del *Challenger:* según sus estimaciones, habría que esperar diez mil años para que se produjera un fallo de consecuencias catastróficas en el transbordador. Pero al cabo de un año... llegó la angustia.

Los clorofluorocarbonos (CFC) fueron específicamente desarrollados como un refrigerante ciento por ciento seguro, con la intención de reemplazar al amoniaco y otros refrigerantes que, al filtrarse, habían causado enfermedades y algunas

muertes. Químicamente inertes, no tóxicos (en concentraciones normales), inodoros, insípidos, no alergénicos y no inflamables, los CFC representan una brillante solución técnica para un problema práctico bien definido. Encuentran empleo en muchas otras industrias, aparte de la refrigeración y el aire acondicionado. Sin embargo, como he descrito anteriormente, los químicos que los desarrollaron pasaron por alto un hecho esencial: que el elevado grado de inercia de las moléculas garantiza que circulen hasta altitudes estratosféricas, donde son descompuestas por la luz solar liberando átomos de clorina que atacan la capa protectora de ozono. Gracias al trabajo de unos pocos científicos, puede que los peligros se hayan reconocido y prevenido a tiempo. Hoy los humanos hemos frenado prácticamente del todo la producción de CFC. No obstante, no sabremos si hemos conseguido evitar un perjuicio real hasta dentro de un siglo, más o menos; ése es el tiempo que tardará en completarse todo el daño que esos gases puedan haber causado. Al igual que los antiguos habitantes de Camarina, hemos cometido errores.

Naturalmente, la tecnología poderosamente devastadora que hemos inventado en los últimos tiempos nos ha acarreado un amplio abanico de otros problemas. Pero, en la mayoría de los casos, no se trata de desastres al estilo del de Camarina: malo si lo hacemos y malo si no lo hacemos. Son más bien dilemas de conocimiento o de plazo: por ejemplo, la equivocada elección, entre otras muchas alternativas posibles, de un refrigerante o principio físico para la refrigeración.

No sólo ignoramos con frecuencia los vaticinios de los oráculos, sino que por lo general ni siquiera nos molestamos en consultarlos.

La idea de traer asteroides a la órbita terrestre se ha revelado atractiva para algunos científicos espaciales y planificadores del futuro, que acarician la posibilidad de explotar los recursos minerales y de metales preciosos que puedan contener esos mundos o de proveer materiales para la construcción de infraestructura espacial sin necesidad de luchar con la gravedad terrestre para ir a buscarlos ahí arriba. Se han publicado artículos sobre cómo llevarlo a cabo y acerca de cuáles pueden ser los beneficios. En discusiones recientes se ha hablado de insertar el asteroide en órbita alrededor de la Tierra, haciéndolo pasar primero a través de la atmósfera terrestre, que lo frenaría, una maniobra con escaso margen de error. En mi opinión, para un futuro cercano debemos reconocer que todo ese esfuerzo resultaría extraordinariamente peligroso y arriesgado, en especial si se trata de cuerpos de metal de más de unas decenas de metros de diámetro. Es ése el tipo de actividad donde los errores de navegación, propulsión o diseño de la misión pueden acarrear las consecuencias más destructivas y catastróficas.

Los ejemplos precedentes ilustran el peligro que se derivaría de un descuido. Pero existe otro tipo de peligro: en ocasiones se nos intenta convencer de que no es posible que este o ese otro invento se utilicen de forma indebida. Se aduce que nadie sería tan temerario como para hacerlo. Es el típico argumento del «loco de la colina». Cada vez que lo escucho (y sale con frecuencia a colación en este tipo de debates), me recuerdo a mí mismo que los locos existen de verdad. En ocasiones

consiguen alcanzar las cotas más altas del poder en las naciones desarrolladas. Vivimos en el siglo de Hitler y de Stalin, tiranos que supusieron el más grave de los peligros, no solamente para la familia humana en general, sino también para su propia gente. Durante el invierno y la primavera de 1945, Hitler ordenó la destrucción de Alemania —«incluso lo más elemental para la supervivencia del pueblo»— porque los alemanes que todavía vivían le habían «traicionado» y eran muy «inferiores» a los que ya habían muerto. Si Hitler hubiera tenido a su disposición armas nucleares, la amenaza de un contragolpe de las armas nucleares aliadas, de haber sido posible, probablemente no le habría disuadido, sino al contrario, le habría espoleado.

¿Somos dignos los humanos de que nos sean confiadas tecnologías que amenazan nuestra civilización? Si la probabilidad de que gran parte de la población humana perezca a causa de un impacto en el siglo próximo es de casi una entre mil, ¿no es más probable que la tecnología de desvío de asteroides caiga en manos inapropiadas dentro de un siglo más; en manos de algún sociópata misantrópico, como Hitler o Stalin, deseoso de cargarse a todo el mundo, o de un megalomaniaco ansioso de «grandeza» y «gloria», de una víctima de la violencia étnica con afán de venganza, de alguien que se debate en las garras de un envenenamiento por testosterona inusualmente severo, de algún fanático religioso tratando de precipitar el día del Juicio Final o, simplemente, de técnicos incompetentes o insuficientemente vigilantes a la hora de manejar los controles y los dispositivos de seguridad? Realmente existe gente así. Los riesgos parecen mucho más importantes que los beneficios, el remedio peor que la enfermedad. La nube de asteroides cercanos a través de la cual avanza laboriosamente nuestro planeta puede constituir un pantano de Camarina moderno.

Es fácil pensar que el uso indebido sería altamente improbable, mera fantasía temerosa. Seguro que ganarían las mentes sobrias, nos diríamos. Pensemos en cuánta gente habría involucrada en la preparación y lanzamiento de las cabezas nucleares, en la navegación espacial, en la detonación de las bombas, en la comprobación de la perturbación nuclear que ha causado cada una de las explosiones, en la conducción del asteroide para que adopte una trayectoria de impacto con la Tierra, etcétera. ¿Acaso no es remarcable que, a pesar de que Hitler diera órdenes a las tropas nazis para que incendiaran París en su retirada y destruyeran la propia Alemania, éstas no fueran cumplidas? A buen seguro, alguien esencial para el éxito de la misión de desvío reconocería el peligro a tiempo. Aunque se asegurara que el proyecto iba encaminado a la destrucción de alguna vil nación enemiga, probablemente no se lo creerían, porque los efectos de la colisión son susceptibles de afectar al planeta entero (y, de todos modos, sería muy difícil asegurar que el asteroide fuera a excavar su cráter monstruo en una nación que lo tuviera particularmente merecido).

Pero ahora imaginemos, no un estado totalitario invadido por tropas enemigas, sino un floreciente estado independiente. Imaginemos una tradición en que las órdenes fueran cumplidas sin ser cuestionadas. Imaginemos que a las personas

implicadas en la operación se les contara una mentira encubridora: que el asteroide iba a colisionar con la Tierra y ellos debían desviarlo, pero, para no preocupar innecesariamente a la población, la operación debería llevarse a cabo en secreto. En un ambiente militar con una jerarquía de mandos firmemente establecida, distribución selectiva de la información, ocultación general y, además, una mentira encubridora, ¿podemos confiar en que la orden fuera desobedecida, por muy apocalíptica que pareciera? ¿Podemos estar seguros de que en las próximas décadas, siglos y milenios no va a suceder una cosa así? ¿Hasta qué punto?

Ni que decir tiene que todas las tecnologías pueden emplearse con fines benévolos y malévolos. Eso, desde luego, es verdad, pero cuando los fines «malévolos» alcanzan una escala lo suficientemente apocalíptica, quizás tengamos que poner límites al tipo de tecnologías que podemos desarrollar. (En cierto modo ya lo estamos haciendo, porque no podemos permitirnos llevarlas todas adelante. Algunas se ven favorecidas y otras no.) O, de otro modo, la comunidad de naciones deberá poner freno a los locos, a los autárquicos y al fanatismo.

La localización de cometas y asteroides es prudente, es un buen objetivo científico y no resulta demasiado cara. Pero, conociendo nuestras debilidades, ¿por qué íbamos ahora siquiera a considerar el desarrollo de la tecnología necesaria para desviarlos? En aras de la seguridad, ¿debemos imaginar esa tecnología en manos de muchas naciones, cada una de las cuales aportaría su dosis de control y equilibrio contra un mal uso de la misma por parte de otra? Esto no es comparable al viejo equilibrio nuclear del terror. Un loco que intente provocar una catástrofe global no va a echarse atrás por el hecho de saber que si no se da prisa, un rival puede cogerle la delantera. ¿Hasta qué punto podemos confiar en que la comunidad de naciones será capaz de detectar el desvío clandestino e inteligentemente diseñado de un asteroide con el tiempo suficiente como para evitarlo? En el caso de que se desarrollara una tecnología así, ¿podría establecerse una salvaguarda internacional que presentara un grado de fiabilidad acorde con el riesgo?

Aunque nos restringiéramos a una mera vigilancia, el riesgo persistiría. Imaginemos que dentro de una generación averiguamos las características de las órbitas de treinta mil objetos de cien metros de diámetro o más, y que esa información es hecha pública, como naturalmente debe ser. Se darían a conocer una serie de mapas, que reflejarían el negro espacio que rodea la Tierra con las órbitas de asteroides y cometas, treinta mil espadas de Damocles colgando sobre nuestra cabeza, diez veces más que el número de estrellas visibles a simple vista, en condiciones de óptima claridad atmosférica. La ansiedad pública sería mucho mayor en una época así, marcada por el conocimiento, que en nuestra actual época de ignorancia. Ello podría tener como consecuencia una insostenible presión del público para que se desarrollaran métodos destinados a mitigar amenazas, incluso imaginarias, que alimentarían por su parte el peligro de que se hiciera un mal uso de la tecnología de desvío de asteroides. Es por esa razón que la detección y seguimiento de asteroides puede no ser una mera herramienta neutral de la

política futura, sino más bien una trampa explosiva. Para mí, la única solución previsible estriba en una combinación de la estimación precisa de las órbitas, la valoración realista del factor amenaza y una educación pública efectiva, de tal forma que, al menos en los regímenes democráticos, los ciudadanos puedan tomar sus propias decisiones con toda la información a mano. Ésa es una tarea que corresponde a la NASA.

Los asteroides cercanos a la Tierra y los medios para alterar sus órbitas están siendo estudiados a fondo. Se observan algunos indicios de que los oficiales del Departamento de Defensa, así como los laboratorios de producción de armas, están empezando a comprender que «jugar» con los asteroides puede entrañar peligros reales. Científicos civiles y militares han mantenido reuniones para debatir la cuestión. Cuando la gente oye por primera vez alguna referencia al peligro que representan los asteroides, muchos lo consideran un cuento chino. «Ahora dicen que el cielo se nos va a caer encima», bromean. Esta tendencia a menospreciar cualquier catástrofe de la que no hayamos sido testigos presenciales resulta, a largo plazo, altamente imprudente. Pero en este caso puede ser un aliado de la prudencia.

Entretanto debemos enfrentarnos todavía al dilema del desvío.

Si desarrollamos y aplicamos la tecnología pertinente, puede liquidarnos. Si no lo hacemos, algún asteroide o cometa puede acabar con nosotros. La solución a este dilema radica, según mi parecer, en el hecho de que los plazos de tiempo que implican ambos peligros son enormemente distintos, corto para el primero y largo para el segundo. Deseo pensar que nuestra implicación futura en el tema de los asteroides cercanos se desarrollará más o menos de la siguiente manera: desde observatorios basados en la Tierra iremos descubriendo los más grandes, trazaremos y verificaremos sus órbitas, determinaremos sus frecuencias de rotación y su composición. Los científicos suelen ser diligentes a la hora de exponer los peligros, prescindiendo de exagerarlos o de modificar las perspectivas. Mandaremos naves espaciales robotizadas para que se acerquen a unos cuantos cuerpos seleccionados, los orbitaremos, tomaremos tierra en ellos y recogeremos muestras de sus superficies para analizarlas en los laboratorios de la Tierra. Finalmente, enviaremos seres humanos. (Debido a la baja gravedad reinante, los astronautas serán capaces de efectuar amplísimos saltos, de diez kilómetros o más, hacia el cielo, y poner en órbita una pelota de béisbol alrededor del asteroide sin más esfuerzo que lanzarla al aire.) Plenamente conscientes de los peligros, no intentaremos modificar las trayectorias de esos cuerpos hasta que el potencial de uso indebido de tecnologías que puedan alterar el mundo sea mucho menor. Eso puede llevarnos bastante tiempo.

Si somos demasiado rápidos en lo que se refiere al desarrollo de tecnologías para mover mundos a voluntad, podemos autodestruirnos; si somos demasiado lentos, nos destruiremos con seguridad. La fiabilidad de las organizaciones políticas mundiales tendrá que efectuar progresos significativos antes de que se les pueda confiar un problema tan serio. Al mismo tiempo, no parece que exista una

solución nacional aceptable. ¿Quién iba a dormir tranquilo sabiendo los medios para la destrucción del mundo en manos de una declarada (o incluso potencial) nación enemiga, tuviera o no la nuestra poderes comparables? La existencia de ese peligro de las colisiones interplanetarias, cuando es comprendido de manera generalizada, contribuye a unir a nuestra especie. Los humanos hemos conseguido proezas que todo el mundo creía imposibles cuando hemos tenido que enfrentarnos a un peligro común, hemos dejado de lado nuestras diferencias, al menos hasta que el peligro ha pasado.

No obstante, *este* peligro nunca queda atrás. Los asteroides, al agitarse gravitacionalmente, van alterando lentamente sus órbitas; sin previo aviso, nuevos cometas se acercan a nosotros tambaleándose desde la oscuridad transplutoniana. Siempre estará presente la necesidad de ocuparnos de ellos mediante un procedimiento que no nos ponga en peligro. Al plantearnos dos clases distintas de riesgo —uno natural y el otro inducido por el hombre—, los pequeños mundos cercanos a la Tierra nos brindan una nueva y potente motivación para crear instituciones transnacionales eficaces y para unificar nuestra especie. Se hace difícil encontrar una alternativa satisfactoria.

Con nuestro nerviosismo habitual, con nuestra costumbre de dar siempre dos pasos adelante y uno atrás, nos dirigimos de todos modos hacia la unificación. Poderosas influencias emanan de la tecnología del transporte y de las comunicaciones, de la interdependiente economía internacional, así como de la crisis global del medio ambiente. El peligro de impacto solamente acelera el ritmo.

Al final, con cautela y escrupuloso cuidado de no intentar nada con asteroides que pudiera causar inadvertidamente una catástrofe en la Tierra, me imagino que iremos aprendiendo cómo modificar las órbitas de pequeños mundos no metálicos, de menos de cien metros de diámetro. Empezaremos con explosiones menores y, poco a poco, iremos incrementando su intensidad. Iremos ganando experiencia en la modificación de órbitas de cometas y asteroides de diferente composición y solidez. Intentaremos determinar cuáles pueden ser movidos y cuáles no. Tal vez hacia el siglo XXII seremos capaces de mover mundos pequeños por el sistema solar, empleando *(véase el capítulo siguiente)* no explosiones nucleares sino motores de fusión nuclear o sus equivalentes. Insertaremos en la órbita terrestre pequeños asteroides hechos de metales industriales y preciosos. Paulatinamente desarrollaremos una tecnología defensiva para desviar un asteroide o cometa de grandes proporciones que pudiera golpear la Tierra en un futuro previsible, al tiempo que, con meticuloso cuidado, vamos construyendo capas protectoras contra su uso indebido.

Dado que el peligro de la utilización incorrecta de la tecnología de desvío de asteroides parece mucho mayor que el de un impacto inminente, podemos permitirnos el lujo de invertir décadas, y probablemente siglos, en tomar precauciones y reformar las instituciones políticas. Si jugamos bien nuestras cartas y la suerte nos acompaña, podemos marcar el ritmo de lo que hacemos ahí arriba a través de los progresos que vamos efectuando aquí abajo. Ambas cosas se hallan,

en cualquier caso, profundamente conectadas.

La amenaza que representan los asteroides nos obliga a pasar a la acción. A la larga deberemos establecer una formidable presencia humana por todo lo largo y ancho del sistema solar interior. En un tema de tanta importancia no creo que nos contentemos con métodos de disuasión exclusivamente robóticos. Y, para llevarlo a cabo de forma segura, estamos obligados a efectuar cambios en nuestros sistemas políticos e internacionales. Si bien buena parte de nuestro futuro se vislumbra bastante encapotado, esta conclusión parece algo más robusta y es independiente de los caprichos de las instituciones humanas.

A largo plazo, aunque no seamos los descendientes de nómadas profesionales ni nos sintamos inspirados por la pasión exploratoria, algunos de nosotros tendremos que abandonar la Tierra, simplemente para garantizar la supervivencia de todos. Y, una vez nos encontremos ahí fuera, necesitaremos bases, infraestructuras. No habrá de transcurrir mucho tiempo para que algunos de nosotros vivamos en hábitats artificiales en otros mundos. Este es uno de los dos argumentos que faltaban —omitido en nuestra discusión de las misiones a Marte— en favor de la presencia humana en el espacio.

Otros sistemas planetarios deben hacer frente a su propia amenaza de impactos, ya que los mundos primordiales pequeños, de los cuales se consideran restos los cometas y asteroides, constituyen la materia a partir de la cual, también allí, se forman los planetas. Una vez formados dejan tras de sí muchos de esos corpúsculos celestes. En la Tierra, el plazo medio entre impactos que amenacen nuestra civilización es quizá de unos doscientos mil años, veinte veces su edad. En cambio, las civilizaciones extraterrestres, si es que existen, tendrán tiempos de espera muy diferentes, dependiendo éstos de factores como las características físicas y químicas del planeta y su biosfera, la naturaleza biológica y social de la civilización que en él haya florecido, así como la tasa de colisiones en sí. Los planetas con presiones atmosféricas más elevadas estarán, en cierto modo, protegidos de los cuerpos de impacto más grandes, aunque la presión tampoco puede ser mucho más elevada sin que el calentamiento por efecto invernadero y otras consecuencias hagan improbable la vida. Si la gravedad es mucho menor que la de la Tierra, los impactores provocarán colisiones mucho menos enérgicas y el peligro se verá reducido, si bien no puede reducirse mucho sin que la atmósfera escape al espacio.

La tasa de impactos en otros sistemas planetarios permanece incierta. Nuestro sistema contiene dos grandes poblaciones de pequeños cuerpos que alimentan la presencia de potenciales impactores en órbitas que cruzan la de la Tierra. Tanto la existencia de las poblaciones de origen como los mecanismos que mantienen la tasa de colisiones dependen de cómo están distribuidos los mundos. Por ejemplo, nuestra Nube de Oort parece haberse poblado por eyecciones gravitatorias de fragmentos de mundo helados procedentes de las proximidades de Urano y Neptuno. En caso de que no existan planetas que jueguen el papel de Urano y Neptuno en sistemas que, por lo demás, son como el nuestro, sus Nubes de Oort

pueden estar mucho menos pobladas. Las estrellas en cúmulos estelares abiertos o globulares, las que se encuentran en sistemas dobles o múltiples, las que ocupan un lugar más cercano al centro de la galaxia o las que experimentan encuentros más frecuentes con las nubes moleculares gigantes en el espacio interestelar pueden tener, todas ellas, unos flujos de impacto más elevados en sus planetas terrestres. El flujo cometario en la Tierra podría ser cientos o miles de veces mayor si nunca se hubiera formado el planeta Júpiter, según cálculos de George Wetherill, de la Institución Carnegie de Washington. En sistemas que no poseen planetas como Júpiter, el escudo gravitacional contra cometas es reducido y los impactos amenazadores de la civilización mucho más frecuentes.

En cierta medida, los flujos elevados de objetos interplanetarios pueden incrementar el ritmo de la evolución de las especies, como en el caso de los mamíferos, que proliferaron y se diversificaron tras la colisión del cretáceo-terciario, que barrió a los dinosaurios de la faz de la Tierra. Pero debe de haber un punto de clara disminución del rendimiento: está claro que llega un momento en que el flujo es demasiado elevado para la continuación de cualquier tipo de civilización.

Una consecuencia de esta línea de argumentación es que, aunque las civilizaciones estuvieran surgiendo de forma habitual sobre los planetas por toda la galaxia, habrá muy pocas que sean a la vez duraderas y no tecnológicas. Dado que los peligros que plantean los asteroides y cometas deben afectar a los planetas habitados de toda la galaxia, los seres inteligentes de todas partes se verán obligados a unificar políticamente sus mundos, a abandonar sus planetas y a mover los mundos pequeños que los rodean. Al final habrán de elegir, como nosotros, entre los vuelos espaciales o la extinción.

CAPÍTULO 19

REMODELAR LOS PLANETAS

¿Quién puede negar que, en cierto modo, el hombre también sería capaz de fabricar Cielos si tuviera a su alcance los instrumentos y el material celestial?
MARSILIO FONO, «El alma del hombre» (aprox. 1474)

En mitad de la segunda guerra mundial, un joven escritor americano llamado Jack Williamson imaginó un sistema solar habitado. Según su visión, en el siglo XXII Venus habría sido colonizada por China,* Japón e Indonesia; Marte por Alemania; y las lunas de Júpiter, por Rusia. Las poblaciones de habla inglesa, la lengua en la que escribía Williamson, quedarían confinadas en los asteroides y, naturalmente, en la Tierra.

La historia, publicada en Astounding Science Fiction («Asombrosa ciencia ficción») en julio de 1942, se tituló *Collision Orbit* («Órbita de colisión») y fue escrita bajo el seudónimo de Will Stewart. El argumento giraba en torno a la inminente colisión de un asteroide inhabitado con uno colonizado y presentaba la búsqueda de un método para alterar las trayectorias de los mundos de pequeñas dimensiones. Si bien nadie en la Tierra corría peligro, ésta puede haber sido la primera visión —exceptuando algunas tiras de cómics publicadas en periódicos— de las colisiones de asteroides como amenaza para los seres humanos. (El peligro principal hasta entonces radicaba en los impactos de *cometas* contra la Tierra.)

Los entornos ambientales de Marte y Venus apenas se conocían a principios de los años cuarenta; todavía se suponía que los seres humanos podrían vivir allí sin necesidad de sofisticados equipos. Pero los asteroides eran harina de otro costal. Ya entonces era de sobra conocido que los asteroides eran mundos pequeños, áridos y asfixiantes. Si se pretendía habitarlos, sobre todo por gran número de personas, esos pequeños mundos deberían ser preparados de alguna manera.

En *Collision Orbit,* Williamson retrata a un grupo de «ingenieros espaciales» capaces de hacer habitables esos inhóspitos lugares. Acuñando un término especial, Williamson denominó «terraformación» al proceso de metamorfosis necesario para conseguir un mundo similar a la Tierra. El sabía que la baja

* En el mundo real, los oficiales chinos del espacio están proponiendo, en la actualidad, poner en órbita, para el cambio de siglo, una cápsula con dos astronautas. Emplearía como propulsión un cohete Long March 2E modificado y sería lanzada desde el desierto de Gobi. Si la economía china exhibiera un crecimiento continuado, aunque sea moderado, mucho menor al crecimiento exponencial que ha marcado desde los comienzos hasta la mitad de la década de los noventa, China puede ser una de las primeras potencias espaciales del mundo hacia mediados del siglo XXI. O incluso antes.

gravedad en un asteroide significa que cualquier atmósfera allí generada o transportada escaparía rápidamente al espacio. Por ello, su tecnología clave para la «terraformación» era la «paragravedad», una gravedad artificial que lograría conservar una atmósfera densa.

Por cuanto hoy podemos decir, la paragravedad constituye una imposibilidad física. Pero podemos imaginar hábitats transparentes en forma de cúpula sobre la superficie de los asteroides, tal como sugirió Konstantin Tsiolkovsky, o bien comunidades establecidas en los interiores de esos cuerpos celestes, según propuso en los años veinte el científico británico J. D. Bernal. Al ser los asteroides de tamaño reducido y sus gravedades tan bajas, incluso masivas construcciones subterráneas podrían resultar comparativamente fáciles de crear. Si se excavara un túnel que atravesara el asteroide de parte a parte, se podría entrar por un extremo y salir por el otro al cabo de 45 minutos, oscilando indefinidamente arriba y abajo a lo largo de todo el diámetro de este mundo. En el interior del tipo de asteroide que nos conviene, el carbónico, pueden encontrarse los materiales apropiados para fabricar construcciones de piedra, metal y plástico, además de agua abundante, en definitiva, todo lo necesario para construir un sistema ecológico cerrado bajo tierra, un jardín subterráneo. Su ejecución requeriría dar un significativo paso más allá de lo que hoy tenemos, pero, a diferencia de la «paragravedad», la idea no contiene elementos cuyo desarrollo parezca imposible. Todos ellos pueden encontrarse en la tecnología contemporánea. Si tuviéramos motivos suficientes, un considerable número de seres humanos podría estar viviendo sobre (o dentro de) asteroides hacia el siglo XXII.

Naturalmente necesitarían una fuente de energía no sólo para mantenerse, sino también, como sugirió Bernal, para mover sus hogares asteroidales de un lugar a otro. (No parece que medie un paso tan grande entre la alteración por explosivos de las órbitas de asteroides y un método más suave de propulsión para uno o dos siglos después.) Si se generara una atmósfera de oxígeno mediante agua fijada químicamente, entonces podría quemarse materia orgánica para conseguir energía, como la obtenida actualmente en la Tierra al quemar combustibles fósiles. También podría considerarse la opción de la energía solar, aunque en el caso de los asteroides del cinturón principal la intensidad de la luz solar *alcanza* solamente alrededor de un diez por ciento de la que disfrutamos en la Tierra. Aun así, podríamos imaginar amplios campos de paneles solares cubriendo las superficies de los asteroides habitados y convirtiendo la luz solar en electricidad. La tecnología fotovoltaica se emplea habitualmente en las naves espaciales que orbitan la Tierra y, en la actualidad, se está incrementando su uso sobre la superficie terrestre. Pero mientras esa energía parece suficiente para calentar y alumbrar a estos descendientes nuestros, no bastaría para modificar las órbitas de asteroides.

Por ello, Williamson propuso que se empleara antimateria. La antimateria es igual que la materia normal, pero presenta una diferencia significativa. Consideremos, por ejemplo, el caso del hidrógeno: un átomo normal de hidrógeno

se compone de un protón cargado positivamente en el interior y un electrón cargado negativamente en el exterior. Un átomo de antihidrógeno se compone, en cambio, de un protón cargado negativamente en el interior y un electrón cargado positivamente (también llamado positrón) en el exterior. Los protones, sea cual sea el signo de sus cargas, tienen la misma masa al igual que los electrones. Las partículas con cargas opuestas se atraen. Un átomo de hidrógeno y un átomo de antihidrógeno son estables, pues en ambos casos las cargas eléctricas positiva y negativa mantienen el equilibrio.

La antimateria no es una construcción hipotética, producto de las ardientes meditaciones de los autores de ciencia ficción o de los físicos teóricos. La antimateria existe. Los físicos la consiguen en aceleradores nucleares; puede encontrarse también en rayos cósmicos altamente energéticos. Pero entonces, ¿por qué no se oye hablar más de ella? ¿Por qué nadie nos ha tendido un trozo de antimateria para que podamos inspeccionarla? Pues porque la materia y la antimateria se aniquilan violentamente una a otra al entrar en contacto, desapareciendo en un intenso estallido de rayos gamma. No podemos decir si una cosa está hecha de materia o de antimateria solamente con mirarla. Las propiedades espectroscópicas, por ejemplo, del hidrógeno y del antihidrógeno son idénticas.

La respuesta de Albert Einstein a la pregunta de por qué vemos solamente la materia y no la antimateria fue: «Porque venció la materia»; con ello quería decir que, al menos en nuestro sector del universo, después de que casi toda la materia y la antimateria entraran en interacción y se aniquilaran mutuamente mucho tiempo atrás, sobró algo de lo que llamamos materia normal.

De haber sido al revés, los seres humanos, y todo lo demás en esta parte del universo, estaríamos hechos de antimateria. Nosotros, claro está, lo llamaríamos materia, y la idea de que los mundos y la vida están hechos de esa otra clase de material, esa materia con las cargas eléctricas invertidas, la consideraríamos sin duda alocadamente especulativa.

Por lo que hoy sabemos, gracias a la astronomía de rayos gamma y otros métodos, el universo está compuesto, casi en su totalidad, de materia. La razón que lo explica va ligada a cuestiones cosmológicas profundas, en las que ahora no vamos a entrar. Pero solamente con que hubiera habido al principio una diferencia de una-partícula-sobre-un-billón en la preponderancia de la materia sobre la antimateria, incluso esa insignificante diferencia habría bastado para explicar el universo que vemos hoy.

Williamson imaginó que los humanos del siglo XXII podrían mover asteroides a su voluntad mediante la aniquilación mutua controlada de materia y antimateria. Los rayos gamma resultantes, alineados, rebasarían con mucho la potencia de un cohete. La antimateria estaría disponible en el cinturón principal de asteroides (entre las órbitas de Marte y Júpiter), pues era ésa su explicación para la *existencia* de dicho cinturón. En el pasado remoto, propuso Williamson, un antimundo intruso de antimateria llegó al sistema solar procedente de las profundidades del

espacio, y colisionó con lo que entonces era un planeta similar a la Tierra, el quinto desde el Sol, aniquilándolo. Los fragmentos de ese poderoso impacto son los asteroides, y algunos de ellos todavía están compuestos de antimateria. Aprovechando uno de esos asteroides de antimateria —aunque reconoció que ello podía ser bastante delicado— pueden moverse mundos a placer.

En su época, las ideas de Williamson eran futuristas, pero estaban muy lejos de ser descabelladas. Algunas partes de *Collision Orbit* pueden considerarse auténticamente visionarias. Hoy, sin embargo, tenemos buenas razones para pensar que en el sistema solar no existen cantidades significativas de antimateria, y que el cinturón de asteroides, lejos de ser un planeta terrestre fragmentado, es un enorme conjunto de pequeños corpúsculos a los que las mareas gravitatorias de Júpiter impiden formar un mundo similar a la Tierra.

No obstante, actualmente generamos (muy) pequeñas cantidades de antimateria en aceleradores nucleares y, hacia el siglo XXII, probablemente seremos capaces de fabricar cantidades mucho mayores. Como es tan eficaz —convierte toda la materia en energía, $E = mc^2$, con un ciento por ciento de eficacia—, quizá para entonces los motores de antimateria serán ya una tecnología práctica, reivindicando a Williamson.

A falta de eso, ¿qué fuentes de energía se puede esperar de forma realista que estén disponibles para remodelar asteroides, iluminarlos, calentarlos y moverlos de un lugar a otro?

El Sol brilla a base de apiñar protones y convertirlos en núcleos de helio. En el proceso se libera energía, si bien con una eficacia inferior al 1 por ciento de la que consigue la aniquilación entre materia y antimateria. Pero incluso las reacciones protón-protón se hallan mucho más allá de lo que sería realista imaginar para nosotros en un futuro próximo. Las temperaturas requeridas son, con mucho, demasiado elevadas. Sin embargo, en lugar de apiñar protones, podríamos emplear tipos de hidrógeno más pesados. Ya lo estamos haciendo en las armas termonucleares. El deuterio es un protón fijado por fuerzas nucleares a un neutrón; el tritio es un protón fijado por fuerzas nucleares a dos neutrones. Parece probable que dentro de un siglo contemos con proyectos energéticos prácticos que impliquen la fusión controlada del deuterio y del tritio, y del deuterio y el helio. El deuterio y el tritio se hallan presentes como constituyentes menores en el agua (en la Tierra y en otros mundos). El tipo de helio necesario para la fusión, ^{3}He (dos protones y un neutrón conforman su núcleo), se ha ido implantando a lo largo de miles de millones de años sobre la superficie de los asteroides a cargo del viento solar. Estos procesos no son ni de lejos tan eficientes como las reacciones protón-protón en el Sol, pero podrían proporcionar suficiente energía para abastecer a una ciudad pequeña durante un año, mediante un filón de hielo de sólo unos pocos metros de tamaño.

Los reactores de fusión parecen estar progresando con excesiva lentitud como para poder jugar un papel importante en la solución, o al menos en una atenuación significativa, del calentamiento global. Pero hacia el siglo XXII podrían estar

ampliamente disponibles. Mediante motores de cohete por fusión será posible mover asteroides y cometas por el sistema solar interior, tomando un asteroide del cinturón principal, por ejemplo, e insertándolo en órbita alrededor de la Tierra. Un mundo de diez kilómetros de diámetro podría ser transportado, pongamos, desde Saturno hasta Marte mediante la combustión nuclear del hidrógeno contenido en un cometa helado de un kilómetro de diámetro. (Una vez más, doy por sentado un periodo de estabilidad política y seguridad mucho mayores.)

Dejemos de lado por un momento cualquier escrúpulo relacionado con cuestiones éticas que podamos albergar con respecto a la remodelación de mundos o a nuestra habilidad para hacerlo sin consecuencias catastróficas. Excavar los interiores de corpúsculos celestes, reconfigurarlos a fin de hacerlos habitables y moverlos de un lugar a otro por el sistema solar parece que puede estar a nuestro alcance dentro de un siglo o dos. Quizá para entonces contemos también con las garantías internacionales adecuadas. Pero ¿qué hay de la transformación de los entornos ambientales no de asteroides y cometas, sino de planetas? ¿Podríamos vivir en Marte?

Si quisiéramos hacer Marte habitable, es fácil llegar a la conclusión de que, al menos en principio, podríamos hacerlo: el planeta disfruta de abundante luz solar. Además posee también agua en cantidad en las rocas y en el subsuelo, así como hielo polar. Su atmósfera se compone principalmente de anhídrido carbónico. Por otra parte, la cercana Fobos cuenta con gran cantidad de materia orgánica, que podría ser extraída y suministrada a Marte. (De hecho, la superficie de Fobos ya está acanalada, como si alguien hubiera estado allí antes que nosotros, pero los geólogos planetarios piensan que las fuerzas de las mareas gravitatorias o la craterización por impacto pueden haber generado esos surcos.) Parece plausible que, en hábitats independientes —tal vez en habitáculos en forma de cúpula—, fuéramos capaces de producir cultivos, manufacturar oxígeno a partir del agua, así como de reciclar desperdicios.

Al principio dependeríamos de los suministros terrestres, pero con el tiempo los iríamos fabricando por nuestra cuenta y así, progresivamente, seríamos cada vez más autosuficientes. Los habitáculos en forma de cúpula dejarían pasar la luz solar, pero mantendrían a raya la luz ultravioleta aunque estuvieran hechos de cristal normal. Provistos de máscaras de oxígeno y trajes protectores —si bien nada tan incómodo y voluminoso como los trajes espaciales— podríamos salir de nuestros enclaves para ir de exploración o bien para construir otras ciudades y granjas bajo cúpulas.

Todo ello parece muy evocativo de la experiencia colonizadora americana, pero con al menos una diferencia importante: en sus primeras fases son esenciales grandes subvenciones. La tecnología necesaria para llevarlo a cabo es demasiado cara para que una familia modesta, como mis abuelos hace un siglo, pueda pagarse el pasaje a Marte. Los primeros pioneros marcianos serán enviados por los gobiernos y deberán demostrar aptitudes altamente especializadas. No obstante, dentro de una o dos generaciones, cuando hijos y nietos nazcan allí —

especialmente cuando esté a nuestro alcance la autosuficiencia— las cosas empezarán a cambiar. Los jóvenes nacidos en Marte recibirán una educación especial en relación con la tecnología esencial para la supervivencia en este nuevo entorno. Los colonizadores serán cada vez menos heroicos y menos excepcionales. Poco a poco se irá imponiendo toda la gama de cualidades y defectos de la especie humana. Gradualmente, en parte debido a la dificultad de trasladarse de la Tierra a Marte, irá emergiendo una cultura marciana diferenciada, con aspiraciones y temores distintos ligados al entorno, tecnologías distintas, problemas sociales distintos y soluciones diferentes y, tal como ha ocurrido en todas las circunstancias similares a lo largo de la historia humana, se irá imponiendo también una gradual sensación de alejamiento cultural y político con respecto al planeta madre.

Grandes naves de transporte de tecnología esencial llegarán desde la Tierra, así como nuevas familias de colonizadores y algunos recursos. Resulta difícil saber, sobre la base de nuestro limitado conocimiento de Marte, si esas naves volverán a casa de vacío o si se llevarán consigo algo que solamente puede encontrarse en Marte, algo considerado muy valioso en la Tierra. Inicialmente gran parte de la investigación científica de las muestras de la superficie marciana se realizará en nuestro planeta. Pero, con el tiempo, el estudio científico de Marte (y de sus lunas Fobos y Deimos) se efectuará in situ.

Finalmente, tal como ha ocurrido con virtualmente cualquier otro tipo de medio de transporte humano, el viaje interplanetario acabará siendo accesible a la gente corriente: podrán llevarlo a cabo científicos con sus propios proyectos de investigación, colonizadores hartos de la Tierra y también turistas aventureros. Y, naturalmente, habrá exploradores.

Si llegara alguna vez el día en que fuera posible transformar el entorno ambiental de Marte en un medio ambiente similar al de la Tierra —de tal modo que se pudiera prescindir de trajes protectores, máscaras de oxígeno y granjas y ciudades bajo cúpulas—, la atracción y accesibilidad de Marte se verían incrementadas de forma significativa. Lógicamente, lo mismo sucedería con cualquier otro mundo que pudiera ser transformado para que los humanos lo habitaran sin tener que usar complicados dispositivos, pensados para evitar un entorno planetario hostil. Nos sentiríamos mucho más cómodos en nuestro nuevo hogar si lo que nos separara de la muerte no fuera algo tan insignificante como una cúpula aislante o un traje espacial. (Aunque tal vez estoy exagerando el grado de preocupación que nos causaría tal circunstancia. De hecho, los habitantes de los Países Bajos parecen al menos tan adaptados y despreocupados como los demás habitantes de la Europa del norte; y eso que sus diques constituyen la única barrera que hay entre ellos y el mar.)

Admitiendo de antemano la naturaleza especulativa de la pregunta, así como las limitaciones de nuestros conocimientos, ¿tiene sentido imaginar la terraformación de los planetas?

No hace falta mirar más allá de nuestro propio mundo para darnos cuenta de que los seres humanos somos hoy capaces de alterar profundamente los entornos

medioambientales de un planeta. La reducción de la capa de ozono, el calentamiento global derivado de un creciente efecto invernadero y el enfriamiento global resultante de una hipotética guerra nuclear son maneras en que la tecnología actual es capaz de trastrocar de forma significativa el entorno de nuestro mundo y, en todos los casos, se trata de una consecuencia inadvertida de llevar a cabo otra actividad. Si nos hubiéramos propuesto modificar nuestro entorno planetario, seríamos plenamente capaces de generar una alteración todavía mayor. A medida que nuestra tecnología vaya haciéndose más poderosa podremos poner en marcha cambios mucho más profundos.

No obstante, igual que en un aparcamiento en paralelo resulta más sencillo salir de nuestra plaza que entrar en ella, es más fácil destruir el entorno medioambiental de un planeta que reconducirlo hacia una serie de temperaturas, presiones, composiciones, etcétera, estrictamente prescritas. Conocemos ya una multitud de mundos desolados e inhóspitos y —con estrechos márgenes— solamente sabemos de uno verde y acogedor. Esta es una de las primeras y principales conclusiones de la era de exploración espacial del sistema solar. Al alterar la Tierra, o cualquier mundo que posea atmósfera, debemos tener muchísimo cuidado con las retroacciones positivas, por las que incidimos levemente sobre un entorno medioambiental y éste se dispara por su cuenta, un poco de enfriamiento que conduce a una glaciación incontrolable, como pudo ocurrir en Marte, o un poco de calentamiento que desencadena un desbocado efecto invernadero, como pudo ser el caso de Venus. No está claro en absoluto que nuestros conocimientos sean suficientes para llevar a cabo una empresa de tanta envergadura.

Por cuanto yo sé, la primera sugerencia en la literatura científica referente a la terraformación de planetas apareció en un artículo de 1961 que escribí sobre Venus. Yo estaba bastante seguro de que la superficie de Venus se encuentra a una temperatura que rebasa con creces el punto normal de ebullición del agua, y ello a consecuencia de un efecto invernadero por anhídrido carbónico/vapor de agua. Imaginé la posibilidad de sembrar sus nubes altas con microorganismos producidos genéticamente, que se encargarían de absorber CO_2, N_2 y H_2O de la atmósfera y convertirlos en moléculas orgánicas. Cuanto más CO_2 extrajeran, menor sería el efecto invernadero y más fría la superficie. Los microbios serían transportados por la atmósfera hasta la superficie donde quedarían fritos, de tal modo que el vapor de agua pudiera regresar a la atmósfera; pero el carbono del CO_2 sería irreversiblemente convertido en grafito o alguna otra forma no volátil del carbono a causa de las elevadas temperaturas. A la larga, las temperaturas caerían por debajo del punto de ebullición y la superficie de Venus se haría habitable, y aparecería salpicada de lagunas y lagos de agua caliente.

Esta idea fue pronto adoptada por un cierto número de autores de ciencia ficción en el baile continuo entre ciencia y ciencia ficción, en el cual la ciencia estimula a la ficción y la ficción a una nueva generación de científicos, un proceso que beneficia a ambos géneros. Pero, como paso siguiente en el baile, ahora ha quedado claro que sembrar Venus de microorganismos fotosintéticos especiales no

funcionaría. Desde 1961 hemos descubierto que las nubes de Venus se componen de una solución de ácido sulfúrico que convierte la posibilidad de aplicar ingeniería genética en un reto todavía mayor. Sin embargo, tal circunstancia no constituye en sí misma un inconveniente definitivo. (Existen microorganismos que viven en soluciones concentradas de ácido sulfúrico.) El inconveniente definitivo es el siguiente: Yo pensaba en 1961 que la presión atmosférica en la superficie de Venus era de unos pocos barios, algo superior a la presión en la superficie de la Tierra. Hoy sabemos, en cambio, que es de 90 barios, de modo que, aunque el invento funcionara, el resultado sería una superficie enterrada bajo cientos de metros de fino grafito y una atmósfera compuesta de 65 barios de oxígeno molecular casi puro. Queda abierta la incógnita de si primero implosionaríamos bajo esa aplastante presión atmosférica o bien si antes nos encenderíamos de forma espontánea y seríamos pasto de las llamas en medio de ese exceso de oxígeno. Pero, mucho antes de que pudiera acumularse todo ese oxígeno, el grafito volvería a quemarse espontáneamente para convertirse en CO_2, frustrando todo el proceso. En el mejor de los casos, un procedimiento de este tipo podría acarrear sólo la terraformación parcial de Venus.

Supongamos que, a principios del siglo XXII, disponemos de vehículos para el transporte de cargas pesadas comparativamente económicos, de modo que podemos llevar grandes cargamentos hasta otros mundos; reactores de fusión abundantes y potentes, y también una ingeniería genética bien desarrollada. Las tres suposiciones entran dentro de lo probable, a juzgar por las tendencias actuales. ¿Podríamos abordar la terraformación de los planetas?

Jack Williamson, profesor emérito de inglés de la Universidad Oriental de Nuevo México, me escribió a sus ochenta y cinco años diciendo que estaba «sorprendido de comprobar lo lejos que ha llegado ya la ciencia» desde que él sugiriera por primera vez la terraformación. Estamos acumulando la tecnología que un día podrá hacerla posible, pero actualmente todo lo que tenemos son sugerencias, muchísimo menos revolucionarias que las ideas originales de Williamson.

James Pollack, del Centro de Investigación, Ames, de la NASA, y yo estudiamos este problema. He aquí un resumen de nuestras conclusiones:

VENUS: Claramente, el problema de Venus es su masivo efecto invernadero. Si pudiéramos reducirlo casi a cero, el clima resultante sería suave. Pero una atmósfera de 90 barios de CO_2 es opresivamente densa. Sobre cada cuadrito de superficie del tamaño de un sello de correos, el aire pesa tanto como seis jugadores profesionales de fútbol colocados uno encima de otro. Hacer desaparecer todo eso nos va a dar bastante quehacer.

Imaginemos que bombardeamos Venus con cometas y asteroides. Cada impacto se llevaría por delante algo de atmósfera. Pero hacerla desaparecer casi por completo requeriría agotar más asteroides grandes y cometas de los que existen, al menos en la porción planetaria del sistema solar. Aunque existiera esa enorme cantidad de potenciales proyectiles, aunque fuéramos capaces de lanzarlos todos

contra Venus (ésta sería la forma «supermegadestructiva» de abordar el problema de la amenaza de los impactos), pensemos en lo que habríamos perdido. Quién sabe qué maravillas, qué conocimientos prácticos podrían contener. Asimismo, borraríamos gran parte de la hermosa geología superficial de Venus, que precisamente ahora estamos empezando a comprender y puede enseñarnos muchas cosas acerca de la Tierra. Éste es un ejemplo de terraformación a lo bruto. Sugiero que prescindamos por completo de esos métodos, incluso si algún día podemos permitírnoslos (cosa que dudo mucho). Nos conviene algo más elegante, más sutil, más respetuoso con el medio ambiente de otros mundos. La solución microbiana tiene algunas de esas virtudes, pero no resuelve el problema, como ya hemos visto.

También cabe imaginar la pulverización de un asteroide oscuro y la diseminación del polvo por la atmósfera superior de Venus, o bien la extracción de ese polvo de la misma superficie del planeta. Ese sería el equivalente físico al invierno nuclear o al clima posterior al impacto del cretáceo-terciario. Si la luz solar que alcanza el suelo está lo suficientemente atenuada, la temperatura de la superficie debe caer. Pero por su propia naturaleza, esta opción sumiría a Venus en una profunda oscuridad, con niveles de luz diurna equiparables como mucho a los de una noche iluminada por la Luna sobre la Tierra. Por otra parte, la opresiva y aplastante atmósfera de 90 barios permanecería intacta. Dado que el polvo inyectado iría sedimentando con los años, la capa de polvo debería ser renovada en ese mismo plazo de tiempo. Puede que dicha opción fuera aceptable para misiones de exploración de corta duración, pero el entorno generado parece demasiado severo para el mantenimiento de una comunidad humana permanente sobre Venus.

Otra posibilidad sería emplear una sombra artificial gigante, en órbita alrededor de Venus, para enfriar su superficie, pero saldría extraordinariamente caro y además presentaría muchas de las deficiencias de la opción de la capa de polvo. Sin embargo, si se pudiera lograr que las temperaturas bajasen lo suficiente, el CO_2 de la atmósfera se precipitaría en forma de lluvia. Entonces se produciría un periodo transicional de océanos de CO_2 sobre Venus. Si se pudiera tapar luego esos océanos para evitar que se evaporasen —por ejemplo mediante océanos de agua conseguidos a base de fundir una gran luna de hielo, transportada desde el sistema solar exterior—, entonces es de suponer que podría separarse el CO_2 y Venus se convertiría en un planeta de agua (o de seltz poco gaseoso). También se ha sugerido convertir el CO_2 en rocas de carbonato.

En cualquier caso, todas estas propuestas para la terraformación de Venus insisten en el empleo de la fuerza bruta, son poco elegantes y absurdamente caras. La metamorfosis planetaria deseada podría estar fuera de nuestro alcance durante largo tiempo, aunque nosotros pensáramos que es deseable y responsable llevarla a cabo. La colonización asiática que Jack Williamson imaginó para el planeta Venus quizá tenga que ser reorientada hacia otro lugar.

MARTE: En el caso de Marte se nos presenta justamente el problema contrario.

No hay *suficiente* efecto invernadero. Ese planeta es un desierto helado. Pero el hecho de que Marte parece haber disfrutado de una gran profusión de ríos, lagos y quizá incluso océanos cuatro mil millones de años atrás —en una época en que el Sol era menos brillante de lo que es hoy— nos induce a preguntarnos si su clima no presenta algún tipo de inestabilidad natural, alguna reacción violenta que, una vez desencadenada, devolvería por sí sola al planeta a su pasado estado de clemencia climática. (Digamos desde el principio que actuar sobre el planeta significaría destruir los accidentes geológicos de Marte, que encierran datos clave sobre su pasado, especialmente el terreno polar laminado.)

Como muy bien sabemos por la Tierra y por Venus, el anhídrido carbónico es un gas de invernadero. En Marte hay minerales de carbonato, así como hielo seco en una de las capas polares. Podrían ser convertidos en gas CO_2. No obstante, generar un efecto invernadero de escala suficiente como para conseguir temperaturas confortables sobre Marte requeriría revolver toda la superficie de Marte y procesarla hasta una profundidad de kilómetros. Aparte de los intimidatorios obstáculos que ello representaría para la ingeniería práctica —con energía de fusión o sin ella— y de los inconvenientes para cualquier sistema ecológico cerrado que los humanos hubieran podido establecer de antemano sobre el planeta, esta opción comportaría también la irresponsable destrucción de una fuente científica de primer orden, de la magnífica base de datos que ofrece la superficie de Marte.

Y ¿qué hay de los gases de invernadero? Podríamos transportar a Marte clorofluorocarbonos (CFC o HCFC) fabricados en la Tierra. Estas sustancias artificiales no se encuentran, por lo que sabemos, en ninguna otra parte del sistema solar. Ciertamente, podemos imaginarnos muy bien fabricando suficientes CFC en la Tierra como para calentar la superficie de Marte, pues *accidentalmente,* en unas pocas décadas con la tecnología presente sobre la Tierra, nos las hemos ingeniado para sintetizar una cantidad suficiente como para contribuir al calentamiento global de nuestro propio planeta. Sin embargo, el transporte de estos gases a Marte saldría caro: incluso empleando cohetes del tipo Saturn V o Energiya, ello requeriría al menos un lanzamiento diario durante un siglo. Aunque quizá también pudieran fabricarse esos gases a partir de minerales marcianos que contuvieran fluorina.

Existe además un serio inconveniente: en Marte, al igual que en la Tierra, una abundancia de CFC impediría la formación de una capa de ozono. Los CFC podrían hacer soportables las temperaturas de Marte, pero garantizarían, por otra parte, que el peligro ultravioleta procedente del Sol fuera extremadamente grave. Tal vez la luz solar ultravioleta pudiera ser absorbida por una capa atmosférica de escombros pulverizados —ya fueran éstos de origen asteroidal o de la propia superficie—, inyectados en cantidades cuidadosamente tituladas por encima de los CFC. Pero ahora nos encontramos ante la problemática circunstancia de tener que afrontar efectos secundarios que se propagan, cada uno de los cuales requiere su propia solución tecnológica a gran escala.

Un tercer gas de invernadero susceptible de calentar Marte es el amoniaco (NH_3). Solamente un poco de amoniaco sería suficiente para calentar la superficie de Marte por encima del punto de congelación del agua. En principio, ello podría hacerse mediante microorganismos creados por ingeniería genética especialmente para tal fin, que convertirían el N_2 de la atmósfera de Marte en NH_3, tal como hacen en la Tierra algunos microbios, aunque en este caso lo harían bajo las condiciones de Marte. O bien esa misma conversión podría llevarse a cabo en fábricas especiales. Alternativamente, el nitrógeno requerido podría ser llevado a Marte desde alguna otra parte del sistema solar. (El N_2 es el constituyente principal en las atmósferas de la Tierra y de Titán.) La luz ultravioleta convertiría de nuevo el amoniaco en N_2 en un plazo de unos treinta años, de modo que sería necesario un continuo reabastecimiento de NH_3.

Una combinación sensata de los efectos de invernadero por CO_2, CFC y NH_3 sobre Marte parece que podría ser capaz de llevar las temperaturas lo suficientemente cerca del punto de congelación del agua como para que pudiera empezar la segunda fase de la terraformación, la elevación suplementaria de las temperaturas debida a una cantidad sustancial de vapor de agua en el aire, la producción generalizada de O_2 a cargo de plantas fabricadas por ingeniería genética y el ajuste fino del medio ambiente en la superficie del planeta. Se podría establecer en Marte microbios, plantas más grandes y animales antes de que el medio ambiente global fuera apropiado para colonizadores humanos sin protección. La terraformación de Marte es mucho más fácil que la de Venus. Pero sigue resultando muy cara con los criterios actuales y destructiva del entorno medioambiental. Sin embargo, si hubiera justificación suficiente, tal vez la terraformación de Marte podría estar en marcha hacia el siglo XXII.

LAS LUNAS DE JÚPITER Y SATURNO: La terraformación de satélites de los planetas jovianos presenta grados diversos de dificultad. Quizá el más fácil de abordar sea Titán. Ya posee una atmósfera, compuesta principalmente de N_2 como la de la Tierra, y se halla mucho más cercano a las presiones atmosféricas terrestres que Venus o Marte. Por si fuera poco, importantes gases de invernadero como el NH_3 y el H_2O se encuentran, casi con seguridad, congelados en su superficie. La fabricación de gases de invernadero incipientes que no se congelaran a las temperaturas actuales de Titán, más un calentamiento directo de su superficie por fusión nuclear podrían, al parecer, ser los primeros pasos clave para abordar un día la terraformación de Titán.

Si tuviéramos una razón de peso para terraformar otros mundos, estos grandes proyectos de ingeniería podrían ser factibles en el plazo de tiempo antes mencionado; los asteroides, con seguridad; Marte, Titán y otras lunas de los planetas exteriores, posiblemente; y Venus, probablemente no. Pollack y yo nos dimos cuenta de que hay gente que encuentra poderosamente atractiva la idea de hacer habitables para los seres humanos otros mundos del sistema solar, así como el hecho de establecer allí observatorios, bases de exploración, comunidades y hogares. Debido a su historia de colonización, esa idea parece particularmente

natural y atractiva en Estados Unidos.

De todos modos, la alteración masiva de los entornos medioambientales de otros mundos solamente puede llevarse a cabo de forma competente y responsable, en caso de que se disponga de unos conocimientos mucho más profundos que los actuales acerca de esos lugares. Los defensores de la terraformación deberán convertirse primero en defensores de una concienzuda exploración científica a largo plazo de otros mundos.

Tal vez cuando comprendamos realmente las dificultades de la terraformación, los costes o los daños medioambientales se revelarán demasiado importantes y rebajaremos nuestras visiones de ciudades cubiertas por cúpulas o subterráneas, o cualesquiera otros sistemas ecológicos cerrados y locales en otros mundos, versiones muy mejoradas de Biosfera II. Quizás abandonaremos el sueño de convertir las superficies de otros mundos en algo parecido a la Tierra. O puede también que haya soluciones mucho más elegantes, con una mejor relación coste/efecto y más responsables desde el punto de vista medioambiental para llevar a cabo la terraformación, que no se nos hayan ocurrido todavía.

Si realmente queremos tirar adelante el asunto, debemos plantearnos determinadas cuestiones: dado que toda opción para la terraformación está sujeta a un balance de costes y beneficios, ¿hasta qué punto podemos estar seguros antes de proceder de que no destruiremos con ello información científica clave? ¿Qué grado de comprensión necesitamos del mundo en cuestión antes de poder fiarnos de la ingeniería planetaria para producir el resultado final deseado? ¿Podemos garantizar un compromiso humano a largo plazo para mantener y reabastecer un mundo prefabricado, teniendo en cuenta que las instituciones políticas humanas tienen una vida tan corta? Si un mundo se supone inhabitado —o tal vez habitado únicamente por microorganismos—, ¿tenemos derecho los seres humanos a alterarlo? ¿Cuál es nuestro grado de responsabilidad en la conservación en sus actuales estados salvajes de los mundos del sistema solar para generaciones futuras, que tal vez contemplen usos que hoy somos demasiado ignorantes para descubrir? Estos interrogantes podrían condensarse quizá en una pregunta final: nosotros, que hemos convertido este mundo en un mayúsculo embrollo, ¿somos realmente dignos de que nos sean confiados otros mundos?

Cabe la posibilidad de que algunas de las técnicas que podrían servir para la terraformación de otros mundos pudieran ser aplicadas para mitigar el daño que le hemos hecho al nuestro. Considerando las urgencias relativas, una indicación útil acerca de cuándo vamos a estar preparados para considerar seriamente la terraformación apunta a que lo estaremos cuando hayamos puesto en orden nuestro propio mundo. Podemos considerarlo como un test para medir la profundidad de nuestra comprensión y de nuestro compromiso. El primer paso para abordar la manipulación del sistema solar reside en garantizar la habitabilidad de la Tierra.

En ese momento estaremos a punto para extendernos a los asteroides, los cometas, Marte, las lunas del sistema solar exterior y más allá. La predicción de

Jack Williamson que apunta que podemos estar listos para el siglo XXII puede no quedar muy lejos de la verdad.

La visión de nuestros descendientes viviendo y trabajando en otros mundos, y moviendo incluso algunos de ellos según su conveniencia parece sacada del más extravagante libro de ciencia ficción. «Seamos realistas», me aconseja una voz en mi interior. Pero esto *es* realista. Nos hallamos en la cúspide de la tecnología, cerca del punto medio entre lo imposible y la rutina. Es lógico que sostengamos una pugna a este respecto. Si no nos hacemos algo terrible a nosotros mismos en el ínterin, dentro de un siglo la terraformación no nos parecerá más imposible de lo que hoy se nos antoja la posibilidad de una estación espacial instalada por seres humanos.

Pienso que la experiencia de vivir en otros mundos inevitablemente nos cambiará. Nuestros descendientes, nacidos y educados en otro lugar, comenzarán de forma natural a ser leales al mundo que los vio nacer, aunque sigan profesando un cierto afecto a la Tierra. Sus necesidades físicas, sus métodos para cubrir dichas necesidades, sus tecnologías y sus estructuras sociales serán necesariamente distintas.

Una brizna de hierba constituye un lugar común en la Tierra, pero sería un auténtico milagro en Marte. Nuestros descendientes en Marte conocerán bien el valor de un pedazo de césped. Y si una brizna de hierba no tiene precio, ¿cuál es el valor de un ser humano? El revolucionario americano Tom Paine, al describir a sus contemporáneos, tuvo pensamientos como el que sigue:

> Los deseos que necesariamente acompañan el cultivo de un desierto produjeron entre ellos un estado social, cuyo cuidado había sido negligido hasta entonces por países largamente hostigados por las disputas e intrigas de sus gobiernos. En una situación así el hombre se convierte en lo que debería ser. Contempla a su especie… como grupo.

Habiendo visto de primera mano una procesión de mundos estériles y desolados, sería lógico que nuestros descendientes en el espacio mimaran la vida. Habiendo también aprendido algo de la actuación de nuestra especie en la Tierra, quizá deseen aplicar esas lecciones a otros mundos, a fin de ahorrar a las generaciones venideras un sufrimiento evitable que sus antepasados se vieron obligados a soportar, y hacer uso de nuestra experiencia y de nuestros errores en el momento de iniciar nuestra evolución abierta al espacio.

CAPÍTULO 20

OSCURIDAD

Lejos, ocultos a los ojos de la luz diurna, hay vigilantes en los cielos.
EURÍPIDES, LOS *bacantes* (aprox. 406 a. J.C.)

Cuando somos niños, tememos la oscuridad. En ella puede haber oculta cualquier cosa. Lo desconocido nos angustia. Irónicamente, nuestro destino es *vivir* en la oscuridad. Este inesperado descubrimiento de la ciencia tiene solamente unos tres siglos de antigüedad. Distanciémonos de la Tierra en cualquier dirección y —tras un flash inicial de azul y una espera algo más larga hasta que la luz del Sol se desvanece— nos encontraremos rodeados de negro, solamente salpicado aquí y allá por tenues y distantes estrellas.

Incluso una vez alcanzada la edad adulta, la oscuridad sigue manteniendo su poder para asustarnos. Por ello, hay quien sostiene que no deberíamos insistir demasiado en averiguar quién más habita en esa oscuridad. «Mejor no saberlo», afirman.

En la galaxia Vía Láctea hay cuatrocientos mil millones de estrellas. De entre esa inmensa multitud, ¿es posible que nuestro Sol, siendo tan vulgar, sea el único que posea un planeta habitado? Quizá el hecho de que se origine vida o inteligencia sea extraordinariamente improbable. O tal vez todo el tiempo estén surgiendo civilizaciones, pero se autoaniquilen tan pronto como tengan ocasión.

Cabe también la posibilidad de que, diseminados por el espacio, orbitando otros soles, existan mundos parecidos al nuestro sobre los cuales haya seres que miren hacia arriba y se pregunten, como hacemos nosotros, quién más debe vivir en la oscuridad. ¿Es posible que la Vía Láctea esté repleta de vida y de inteligencia —mundos que llaman a otros mundos— y nosotros, en la Tierra, estemos viviendo el momento decisivo en que hemos decidido por vez primera escuchar esa llamada?

Nuestra especie ha descubierto una forma de comunicarse a través de la oscuridad, de trascender distancias inmensas. No hay medio de comunicación más rápido, más barato o que tenga mayor alcance. Se llama radio.

Al cabo de miles de millones de años de evolución biológica —en su planeta y en el nuestro— una civilización extraterrestre no puede estar al mismo nivel tecnológico que la nuestra. Ha habido humanos durante más de veinte mil siglos, pero sólo hace un siglo que conocemos la radio. Si las civilizaciones extraterrestres están más atrasadas que nosotros, es probable que lo estén demasiado como para tener radio. Y si están más adelantadas que nosotros, lo estarán también mucho más. Pensemos en los avances tecnológicos que hemos conseguido en nuestro mundo durante los últimos siglos. Lo que a nosotros nos resulta tecnológicamente difícil o imposible, lo que nos parecería mágico, a ellos podría parecerles banal, de

tan fácil. Podría ser que emplearan otros medios mucho más avanzados para comunicarse con sus semejantes, pero conocerían la radio como un modo de aproximación a civilizaciones emergidas recientemente. Incluso con un nivel tecnológico no más adelantado que el nuestro en sus estaciones de transmisión y recepción, hoy podríamos comunicarnos a través de gran parte de la galaxia. Ellos deberían ser capaces de llegar mucho más allá.

Eso si es que existen.

Pero nuestro temor a la oscuridad se subleva. La idea de la posible existencia de seres extraterrestres nos preocupa. Nos inventamos objeciones:

«Es demasiado caro.» Pero, en su plena expresión tecnológica moderna, cuesta menos que un helicóptero de combate al año.

«Nunca llegaremos a comprender lo que dicen.» Pero, dado que el mensaje se transmite por radio, nosotros y ellos debemos tener radiofísica, radioastronomía y radiotecnología en común. Las leyes de la Naturaleza son las mismas en todas partes; así pues, la misma ciencia proporciona un medio y un lenguaje de comunicación incluso entre especies de seres muy diferentes, siempre, claro está, que ambas dispongan de ciencia. Descifrar el mensaje, si tenemos la suerte de recibir alguno, puede ser mucho más fácil que captarlo.

«Resultaría desmoralizante enterarnos de que nuestra ciencia está en un estadio primitivo.» Pero, con los criterios de los próximos siglos, al menos una parte de nuestra ciencia actual será considerada primitiva, con extraterrestres o sin ellos. (Lo mismo ocurrirá con nuestras actuales política, ética, economía y religión.) Ir más allá de la ciencia actual constituye uno de los objetivos principales de la ciencia. Los estudiantes serios no suelen caer en la desesperación cuando, al pasar las páginas de un libro de texto, descubren que el autor conoce un tema que ellos todavía desconocen. Por lo general, los estudiantes se esfuerzan un poco, adquieren ese nuevo conocimiento y, siguiendo una antigua tradición humana, continúan pasando páginas.

«A lo largo de toda la historia, las civilizaciones avanzadas han arruinado a otras civilizaciones que les iban ligeramente a la zaga.» Ciertamente. Pero los extraterrestres maléficos, si existen, no van a descubrir nuestra presencia por el mero hecho de que les estemos escuchando. Los programas de búsqueda se limitan a recibir, no envían.

Sorprendentemente, a muchas personas, incluyendo los editorialistas del *New York Times,* los preocupa el hecho de que cuando los extraterrestres descubran dónde estamos, puedan venir aquí a comernos. Dejando aparte las profundas diferencias biológicas que deben de existir entre los hipotéticos alienígenas y nosotros, imaginemos que constituimos un manjar gastronómico interestelar. ¿Por qué iban a molestarse en transportar multitud de humanos hasta los restaurantes extraterrestres? Los cargamentos serían enormes. ¿No sería mejor que se limitaran a robar unos cuantos humanos, determinaran nuestra secuencia de aminoácidos, o cualquiera que fuera el origen de nuestro sabroso sabor, y luego se dedicaran a sintetizar ese mismo producto alimenticio desde un buen principio?

Por el momento, el debate sigue vivo. Actualmente, a una escala sin precedentes, estamos tratando de captar señales de radio de otras posibles civilizaciones en las profundidades del espacio. Hoy vive la primera generación de científicos que está interrogando a la oscuridad. Resulta también plausible que sea la última antes de establecer contacto, y éste, el último momento antes de que descubramos que alguien en la oscuridad nos está llamando.

Este rastreo se denomina «Búsqueda de inteligencia extraterrestre» (*Search for Extraterrestrial Intelligence,* SETI). Permítanme describir hasta dónde hemos llegado.

El primer programa SETI fue llevado a cabo por Frank Drake en el Observatorio Nacional de Radioastronomía de Greenbank, West Virginia, en 1960. Estuvo escuchando durante dos semanas dos estrellas cercanas parecidas al Sol en una frecuencia determinada. («Cercanas» es una manera muy relativa de expresarlo: la más cercana se encuentra a doce años luz de distancia.)

Casi en el mismo momento en que Drake enfocó el radiotelescopio y puso en marcha el sistema, captó una señal muy fuerte. ¿Se trataba de un mensaje de seres extraterrestres? Luego ésta se esfumó. Si la señal desaparece, no se puede escrutar. No podemos determinar si, a causa de la rotación de la Tierra, se mueve con el cielo. Si no es repetible, no podemos averiguar casi nada de ella, podría tratarse de interferencias de radio terrestres o de un fallo de nuestro amplificador o detector... o de una señal alienígena. Los datos que no se repiten, independientemente de lo insigne que sea el científico que dé cuenta de los mismos, no sirven para gran cosa.

Semanas más tarde, la señal fue detectada de nuevo. Resultó ser un avión militar transmitiendo en una frecuencia no autorizada. Drake informó de los resultados negativos que había obtenido. Pero en ciencia un resultado negativo no equivale a un fracaso. Su gran logro fue poner de manifiesto que la tecnología moderna sería plenamente capaz de captar señales de hipotéticas civilizaciones residentes en planetas de otras estrellas.

Desde entonces ha habido una serie de intentos, a menudo aprovechando tiempo escatimado a otros programas de observación por radiotelescopio, y casi nunca durante más de unos pocos meses. Se ha producido alguna otra falsa alarma, en el estado de Ohio, en Arecibo, en Puerto Rico, en Francia, en Rusia y en otros lugares, pero nada aceptable para la comunidad científica mundial.

Entretanto, la tecnología para la detección se ha ido abaratando; el grado de sensibilidad de la misma continúa mejorando; la respetabilidad científica del programa SETI ha ido en aumento; e incluso la NASA y el Congreso han perdido un poco el miedo a apoyarlo. No obstante, son posibles y necesarias diversas estrategias de búsqueda complementarias. Hace años que quedó claro que, si la tendencia continuaba, la tecnología que permitiría aplicar ampliamente el programa SETI acabaría estando al alcance incluso de organizaciones privadas (o de individuos con alto nivel de recursos) y, tarde o temprano, el gobierno se decidiría a apoyar un programa de mayor importancia. Tras treinta años de trabajo, para algunos de nosotros ha sido más bien tarde que temprano. Pero por

fin ha llegado el momento.

La sociedad planetaria —una asociación sin ánimo de lucro que Bruce Murray, entonces director del JPL, y yo fundamos en 1980— está dedicada a la exploración planetaria y a la búsqueda de vida extraterrestre. Paul Horowitz, un físico de la Universidad de Harvard, había ideado una serie de importantes innovaciones para el SETI y estaba deseoso de probarlas. Si podíamos conseguir el dinero para ponerlo en marcha, pensamos que podríamos continuar apoyando el programa con donaciones de nuestros asociados.

En 1983 Ann Druyan y yo sugerimos al director de cine Steven Spielberg que éste era un proyecto ideal para que él le concediera su apoyo. Rompiendo con la tradición de Hollywood, el cineasta había hecho dos películas de extraordinario éxito en las que transmitía la idea de que los seres extraterrestres no tenían por qué ser hostiles y peligrosos. Spielberg accedió gustoso. Con su apoyo inicial y a través de la Sociedad Planetaria, se puso en marcha el programa META.

META es un acrónimo para *Megachannel ExtraTerrestrial Assay* («Ensayo extraterrestre por megacanales»). La frecuencia única del primer sistema de Drake llegaba hasta los 8,4 millones. Pero cada canal, cada «estación», que sintonizamos posee una gama de frecuencias extraordinariamente ajustada. No existen procesos conocidos ahí fuera, entre las estrellas y las galaxias, capaces de generar «líneas» de radio tan definidas. Si captáramos algo que hubiera caído en un canal tan estrecho, tendría que ser, pensamos, un indicio de inteligencia y tecnología.

Y lo que es más, la Tierra gira, lo cual significa que cualquier fuente de radio distante tendrá un movimiento aparente considerable, igual que la salida y la puesta de las estrellas. Al igual que el tono fijo de la bocina de un coche se vuelve más grave a medida que el vehículo se aleja, cualquier fuente de radio extraterrestre auténtica exhibirá una desviación fija en su frecuencia, debido a la rotación de la Tierra. En contraste, cualquier fuente de interferencias de radio en la superficie de la Tierra rotará a la misma velocidad que el receptor META. Las frecuencias de escucha del META se modifican continuamente para compensar la rotación de la Tierra, de tal modo que cualquier señal de banda estrecha procedente del cielo aparecerá siempre en un canal único. En cambio, cualquier interferencia de radio aquí en la Tierra se pondrá en evidencia al pasarse a los canales adyacentes.

El radiotelescopio META en Harvard, Massachusetts, tiene 26 metros de diámetro. Cada día, a medida que la Tierra hace rotar el telescopio bajo el cielo, una hilera de estrellas más estrecha que la luna llena es barrida y examinada. Al día siguiente le toca el turno a la hilera de al lado. A lo largo de un año se observa todo el cielo del hemisferio norte y parte del del hemisferio sur. Un sistema idéntico, también esponsorizado por la Sociedad Planetaria, se halla en funcionamiento en las afueras de Buenos Aires, Argentina, con el objeto de examinar el cielo del hemisferio sur. De este modo, ambos sistemas META han venido explorando la totalidad del cielo.

El radiotelescopio, gravitatoriamente pegado a la Tierra en rotación, contempla

cada estrella durante dos minutos, A continuación pasa a la siguiente. 8,4 millones de canales suena a mucho, pero recordemos que cada canal es muy estrecho. Todos ellos juntos constituyen solamente unas pocas de entre las cien mil partes que componen el espectro de radio disponible. Así pues, tenemos que estacionar nuestros 8,4 millones de canales en algún lugar del espectro de radio para cada año de observación, cerca de alguna frecuencia en la que una civilización alienígena, sin saber nada de nosotros, pudiera concluir de todos modos que estamos escuchando.

El hidrógeno es, con mucho, el tipo de átomo más abundante en el universo. Se halla distribuido en nubes y en forma de gas difuso por todo el espacio interestelar. Cuando capta energía, libera una porción de la misma emitiendo ondas de radio en una frecuencia precisa de 1420,405751768 megahertzios. (Un hertzio significa que la cresta y el valle de una onda llegan a nuestro instrumento de detección cada segundo. Por tanto, 1420 megahertzios equivalen a un billón cuatrocientos veinte mil millones de ondas por segundo, entrando en nuestro detector. Dado que la longitud de onda de la luz corresponde a la velocidad de la luz dividida por la frecuencia de la onda, 1420 megahertzios corresponden a una longitud de onda de veintiún centímetros.) Los radioastrónomos de todos los puntos de la galaxia estarán estudiando el universo a 1420 megahertzios y serán capaces de anticipar que otros radioastrónomos, independientemente de lo diferente que sea su apariencia física, harán lo mismo.

Es como si alguien le dijera que la banda de frecuencias de su aparato de radio casero tiene solamente una estación, pero que nadie conoce su frecuencia. ¡Ah!, y otra cosa: el dial de frecuencias de su aparato, con su fino marcador de frecuencias que ajustamos girando un botón, resulta que alcanza desde la Tierra hasta la Luna. Buscar sistemáticamente a través de este amplísimo espectro de radio, girando pacientemente el botón, nos llevaría mucho tiempo. El problema es ajustar correctamente el dial desde el principio, seleccionar la frecuencia indicada. Si pudiéramos adivinar en qué frecuencias nos están transmitiendo los extraterrestres —las frecuencias «mágicas»—, entonces nos ahorraríamos mucho tiempo y problemas. Éstas son la clase de cuestiones que escuchamos primero, como había hecho Drake, en frecuencias cercanas a los 1420 megahertzios, la frecuencia «mágica» del hidrógeno.

Horowitz y yo hemos publicado resultados detallados correspondientes a cinco años de búsqueda a plena dedicación con el proyecto META y dos años de seguimiento. No podemos afirmar que hayamos dado con una señal de seres extraterrestres. Pero sí encontramos algo enigmático, algo que, de vez en cuando, en momentos tranquilos, cuando pienso en ello me pone la carne de gallina:

Naturalmente, hay un cierto nivel de fondo de ruidos de radio achacables a la Tierra: estaciones de radio y televisión, aviones, teléfonos portátiles, naves espaciales cercanas y distantes. Asimismo, como ocurre con todos los receptores de radio, cuanto más esperas, más probabilidades hay de que se produzca una fluctuación casual del aparato electrónico tan fuerte que pueda generar una falsa

señal. Por ello solemos ignorar todo lo que no tenga *mucho más* volumen que el fondo.

Cualquier señal fuerte de banda estrecha que permanezca en un único canal es tomada muy en serio. Cuando queda registrada en los datos, META comunica automáticamente a los operadores humanos que deben prestar atención a determinadas señales. En el transcurso de esos cinco años efectuamos unos sesenta billones de observaciones en diversas frecuencias, mientras examinábamos todo el cielo accesible. Unas pocas docenas de señales superaron el proceso de selección. Éstas fueron sometidas a un mayor escrutinio y casi todas acabaron siendo rechazadas, por ejemplo, porque los microprocesadores detectores de fallos que examinan los microprocesadores detectores de señales han descubierto un error.

Las señales que quedaron —las más firmes candidatas después de tres estudios del cielo— son once «acontecimientos». Satisfacen todos menos uno de nuestros criterios para ser declaradas señales alienígenas genuinas. Pero el criterio que falla es supremamente importante: la verificabilidad. Nunca hemos podido volver a detectar ninguna de esas señales. Miramos de nuevo a esa parte del cielo al cabo de tres minutos y ya no había nada. Miramos otra vez al día siguiente, y nada. La examinamos al cabo de un año, o de siete, y sigue sin haber nada.

Parece improbable que cada señal que recibimos de una civilización extraterrestre se apague al cabo de dos minutos de empezar a escucharla, para no repetirse jamás. (¿Cómo podrían saber ellos que los estamos escuchando?) Pero es posible que sea un efecto del parpadeo. Las estrellas parpadean porque hay masas de aire turbulento que se interponen en la línea visual entre la estrella y nosotros. En ocasiones esas masas de aire actúan como lentes y hacen que los rayos de luz de una determinada estrella converjan un poco, haciéndola momentáneamente más brillante. De modo similar, las fuentes de radio astronómicas pueden parpadear, debido a nubes de gas cargado eléctricamente (o «ionizado») que se mueven en el vasto vacío interestelar. Eso es algo que observamos de forma rutinaria en el caso de los pulsares.

Imaginemos una señal de radio que se halla levemente por debajo de la fuerza que, de otro modo, detectaríamos en la Tierra. En algún momento y por casualidad la señal se concentra temporalmente, se amplifica y entra en la franja de detectabilidad de nuestros radiotelescopios. Lo interesante es que las duraciones de estos abrillantamientos, que han podido deducirse gracias a la física del gas interestelar, *son* de unos pocos minutos, y la probabilidad de que podamos captar de nuevo la señal es reducida. Realmente, tendríamos que estar enfocando permanentemente esas coordenadas en el cielo, observándolas durante meses.

A pesar de que ninguna de esas señales se repite, se da un hecho adicional al respecto que me provoca un escalofrío: ocho de las once mejores candidatas se encuentran dentro o cerca del plano de la galaxia Vía Láctea. Las cinco más fuertes fueron localizadas en las constelaciones Casiopea, Monoceros, Hidra y dos en la de Sagitario, aproximadamente en dirección al centro de la galaxia. La Vía Láctea es un cúmulo de gas, polvo y estrellas en forma de disco plano. El hecho de que sea

plana explica que la veamos como una banda de luz difusa a través del cielo nocturno. Es allí donde residen casi todas las estrellas de nuestra galaxia. Si nuestras señales candidatas fueran en realidad interferencias de radio de la Tierra o algún fallo que hubiera pasado inadvertido en la electrónica de detección, no las veríamos preferentemente cuando enfocamos hacia la Vía Láctea.

Aunque quizá fuimos víctimas de un funcionamiento especialmente desafortunado y engañoso de la estadística. La probabilidad de que esta correlación con el plano de la galaxia sea meramente atribuible a la casualidad es menor de un 0,5%. Imaginemos un mapa del cielo del tamaño de una pared que abarque desde la estrella del Norte en su parte más superior hasta las estrellas más tenues hacia las que apunta el polo sur de la Tierra en la parte más inferior. Serpenteando a través del mapa aparecen las irregulares fronteras de la Vía Láctea. Ahora supongamos que nos vendan los ojos y nos piden que lancemos cinco dardos al azar sobre el mapa (con una gran parte del cielo del hemisferio sur, inaccesible desde Massachusetts, declarada fuera de los límites). Deberíamos lanzar los cinco dardos más de doscientas veces para que, por casualidad, consiguiéramos que cayeran tan juntos dentro del área de la Vía Láctea como lo hicieron las cinco señales más fuertes captadas por el programa META. No obstante, en ausencia de señales repetibles, no hay manera de que podamos concluir que, efectivamente, hemos tropezado con inteligencia extraterrestre.

O quizá los eventos que hemos hallado son causados por algún nuevo tipo de fenómeno astrofísico, algo en lo que nadie ha reparado hasta ahora y por lo cual, no civilizaciones, sino estrellas o nubes de gas (o alguna otra cosa) que se encuentran en el plano de la Vía Láctea emiten fuertes señales en bandas de frecuencia desconcertantemente estrechas.

Pero permitámonos un momento de extravagante especulación. Imaginemos que todos los acontecimientos seleccionados son debidos, en efecto, a radiofaros de otras civilizaciones. En ese caso, podemos estimar —a partir del poco tiempo que hemos invertido en observar cada porción del cielo— cuántos transmisores hay en toda la Vía Láctea. La respuesta es que hay una cifra cercana al millón. Si estuvieran diseminados al azar por el espacio, el más cercano estaría a unos cuantos cientos de años luz de distancia, demasiado lejos para que ellos hubieran podido captar nuestras señales de televisión o de radar. Durante unos cuantos siglos más, ellos seguirían sin saber que en la Tierra ha emergido una civilización tecnológica. La galaxia estaría palpitando de vida y de inteligencia, pero —a menos que estuvieran explorando febrilmente un ingente número de oscuros sistemas estelares— se hallarían completamente *in albis* acerca de lo que ha venido ocurriendo últimamente por aquí. Dentro de unos cuantos siglos, cuando se enteren de nuestra presencia, las cosas pueden ponerse muy interesantes. Afortunadamente, tendremos muchas generaciones para prepararnos.

Si, por el contrario, *ninguna* de nuestras señales candidatas es un auténtico radiofaro alienígena, entonces nos vemos forzados a extraer la conclusión de que hay muy pocas civilizaciones transmitiendo, quizá ninguna, al menos en nuestras

frecuencias mágicas y lo suficientemente fuerte como para que podamos captarlo.

Consideremos una civilización como la nuestra, pero que ha dedicado toda su energía disponible (alrededor de un billón de vatios) a transmitir una señal de radiofaro en una de nuestras frecuencias mágicas y en todas direcciones en el espacio. En ese caso, los resultados del programa META implicarían que no hay civilizaciones así en un espacio de veinticinco años luz, un volumen que abarcaría unas doce estrellas semejantes al Sol. No se trata pues de un límite muy estricto. Si, en cambio, esa civilización estuviera transmitiendo directamente hacia nuestra posición en el espacio, empleando una antena no más avanzada que la del observatorio de Arecibo, entonces si META no ha encontrado nada, cabe concluir que no hay civilizaciones así en ninguna parte de la Vía Láctea, de entre cuatrocientos mil millones de estrellas, ni una sola. Pero incluso asumiendo que quisieran, ¿cómo sabrían transmitir en nuestra dirección?

Consideremos ahora, en el extremo tecnológico opuesto, una civilización muy avanzada transmitiendo pródigamente en todas direcciones con un nivel de energía diez billones de veces mayor (10 elevado a la 26 vatios, toda la energía liberada por una estrella como el Sol). Entonces, si los resultados del programa META son negativos, podemos concluir no solamente que no existen civilizaciones así en la Vía Láctea, sino que no hay ninguna en un área de setenta millones de años luz, ni en la M 31, la galaxia más cercana semejante a la nuestra, ni en la M 33, o el Sistema Fornax, ni en la M 81, o la nebulosa Torbellino, ni en Centaurus A, ni en el cúmulo de galaxias Virgo, ni en las galaxias Seifert más cercanas; no hay ninguna civilización inteligente entre los cien billones de estrellas de las miles de galaxias cercanas. Herida de muerte o no, la noción geocéntrica despierta de nuevo.

Naturalmente, podría ser un indicio, no de inteligencia, sino de supina estupidez dilapidar tanta energía en la comunicación interestelar (o intergaláctica). Quizá tengan buenas razones para no estar interesados en dar la bienvenida a todo el que llegue de fuera. O puede que les tengan sin cuidado las civilizaciones tan atrasadas como la nuestra. Pero aun así, ¿es posible que en cien billones de estrellas no haya una sola civilización transmitiendo con esa potencia energética, en esa frecuencia precisa? Si los resultados del programa META son negativos, hemos establecido un límite ilustrativo, pero no tenemos manera de saber si tiene relación con la abundancia de civilizaciones muy avanzadas o con su estrategia de comunicación. Aunque el programa META no haya encontrado nada, un amplio término medio permanece abierto, de numerosas civilizaciones más avanzadas que la nuestra y transmitiendo de modo omnidireccional en frecuencias mágicas. Todavía no tenemos noticia de su existencia.

El 12 de octubre de 1992 —para bien o para mal, fecha del quingentésimo aniversario del «descubrimiento» de América por Cristóbal Colón— la NASA puso en marcha *su* nuevo programa SETI. A través de un radiotelescopio ubicado en el desierto de Mojave se inició una búsqueda que pretendía cubrir sistemáticamente todo el cielo, como el META, sin efectuar presuposiciones sobre qué estrellas

podían presentar un mayor índice de probabilidad, pero expandiendo en gran medida la cobertura de frecuencias. En el observatorio de Arecibo se inició un estudio de la NASA, con mayor grado de sensibilidad, que se concentraba en prometedores sistemas estelares cercanos. Una vez alcanzado el nivel de plena operatividad, estos sondeos de la NASA habrían sido capaces de detectar señales mucho más débiles que el programa META, así como de buscar tipos de señales a las que el META no tenía acceso.

La experiencia del programa META revela un grueso de interferencias de fondo estáticas y de radio. La rápida reobservación y confirmación de la señal —especialmente en otros radiotelescopios independientes— es la clave para estar seguros. Horowitz y yo dimos a los científicos de la NASA las coordenadas de los fugaces y enigmáticos acontecimientos captados por nosotros. Tal vez ellos fueran capaces de confirmar y clarificar nuestros resultados. El programa de la NASA estaba desarrollando además nuevas tecnologías, estimulando ideas y cautivando a los niños en las escuelas. A los ojos de muchas personas valía la pena gastar los diez millones de dólares anuales que se estaban invirtiendo en el proyecto. Pero casi exactamente un año después de ser autorizado, el Congreso «desenchufó» el programa SETI de la NASA. Salía demasiado caro, según se dijo. No obstante, el presupuesto de defensa de Estados Unidos para la época posguerra fría era unas treinta mil veces mayor.

El principal argumento del oponente más importante al programa SETI —el senador Richard Bryan, de Nevada— fue el siguiente (del Registro del Congreso correspondiente al 22 de Septiembre de 1993):

> Hasta ahora, el programa SETI de la NASA no ha encontrado nada. En realidad, todas las décadas de investigación SETI no han logrado dar con indicios confirmables de vida extraterrestre.
>
> Incluso con la versión SETI actual de la NASA, no creo que muchos de sus científicos estuvieran dispuestos a garantizar que tenemos posibilidades de ver resultados tangibles en un futuro (previsible)...
>
> La investigación científica raras veces, por no decir nunca, ofrece garantías de éxito —y yo lo comprendo—, y el verdadero alcance de los beneficios de este tipo de investigaciones suele desconocerse hasta muy entrado el proceso. Y acepto eso también.
>
> Sin embargo, en el caso del programa SETI las posibilidades de éxito son tan remotas y los potenciales beneficios tan limitados, que existe escasa justificación para invertir doce millones de dólares de los contribuyentes en este programa.

Pero ¿cómo podemos «garantizar», antes de descubrir inteligencia extraterrestre, que vamos a dar con ella? Y, por otra parte, ¿cómo podemos saber que las probabilidades de éxito son «remotas»? Y si encontráramos inteligencia extraterrestre, ¿pueden ser los beneficios realmente «tan limitados»? Como sucede en todas las grandes aventuras de exploración, no sabemos lo que vamos a encontrar, ni tampoco la probabilidad que tenemos de dar con ello. Si lo supiéramos, ya no sería necesario que buscáramos.

El SETI es uno de esos programas de investigación que irritan a los que

persiguen siempre unas tasas coste/beneficios bien definidas. Si va a encontrarse realmente inteligencia extraterrestre, cuánto tiempo será necesario para ello y cuánto va a costar en términos económicos son factores que desconocemos. Los beneficios podrían ser enormes, pero ni siquiera de eso podemos estar seguros. Naturalmente, sería una temeridad invertir una fracción mayor del tesoro nacional en aventuras de este tipo, pero me pregunto si las civilizaciones no podrían ser calibradas por el hecho de si prestan *alguna* atención a intentar solucionar las grandes cuestiones.

A pesar de estos reveses, un esforzado grupo de científicos e ingenieros, concentrados en el Instituto SETI en Palo Alto, California, ha decidido seguir adelante, con la participación del gobierno o sin ella. La NASA ha dado su permiso para emplear los equipos que ya habían sido pagados; los capitanes de la industria electrónica han donado unos cuantos millones de dólares; al menos está disponible un radiotelescopio apropiado y las fases iniciales de éste, el más grande de los programas SETI, están en marcha. Si es capaz de demostrar que se puede llevar a cabo un estudio útil del cielo sin ser inundados por ruidos de fondo —y especialmente si, como parece probable después de la experiencia META, existen señales candidatas sin explicación plausible— quizá el Congreso cambie de opinión una vez más y subvencione el proyecto.

Entretanto, Paul Horowitz ha sacado un nuevo programa —distinto del META y de lo que estaba haciendo la NASA— denominado BETA. BETA equivale a *«Billion-channel ExtraTerrestrial Assay»* («Ensayo extraterrestre de los mil millones de canales»). Combina la sensibilidad de la banda estrecha con la amplia cobertura de frecuencias y una ingeniosa manera de verificar señales en cuanto son detectadas. Si la Sociedad Planetaria consigue encontrar apoyo adicional, este sistema —mucho más barato que el anterior programa de la NASA— estará pronto en el aire.

¿Me gustaría creer que con el META hemos interceptado transmisiones de otras civilizaciones ahí fuera, en la oscuridad, diseminadas por la inmensidad de la galaxia Vía Láctea? Sin duda alguna. Después de décadas de reflexión y estudio de este problema, naturalmente me encantaría. Un descubrimiento como ése sería emocionante para mí. Lo cambiaría todo. Tendríamos noticia de otros seres, independientemente evolucionados durante miles de millones de años, que tal vez contemplaran el universo de un modo muy distinto, quizá más ingenioso y, ciertamente, nada humano. ¿Cuántas cosas saben que nosotros desconocemos?

Para mí, la ausencia de señales, el hecho de que nadie nos esté llamando, constituye una perspectiva muy deprimente. «El silencio completo —dijo Jean-Jacques Rousseau en un contexto distinto— induce a la melancolía; es una imagen de la muerte.» Pero yo estoy de acuerdo con Henry David Thoreau: «¿Por qué habríamos de sentirnos solos? ¿Acaso no se encuentra nuestro planeta en la Vía Láctea?»

Darnos cuenta de que existen otros seres y que, tal como requiere el proceso evolutivo, deben ser muy diferentes de nosotros, comportaría una implicación

impresionante: sean cuales sean las diferencias que nos dividen aquí en la Tierra, son del todo triviales comparadas con las diferencias entre cualquiera de nosotros y cualquiera de ellos. Tal vez no sea más que una conjetura aventurada, pero el descubrimiento de inteligencia extraterrestre podría jugar un papel importante en la unificación de nuestro litigante y dividido planeta. Sería la última de las grandes degradaciones, un rito de transición para nuestra especie y un acontecimiento que transformaría la antigua búsqueda de nuestro lugar en el universo.

En nuestra fascinación por el SETI, podríamos sentirnos tentados de sucumbir a las creencias; pero eso sería autoindulgente e imprudente. ¿Debemos renunciar a nuestro escepticismo solamente frente a evidencias sólidas como la roca? La ciencia exige una cierta tolerancia frente a la ambigüedad. Cuando nos sentimos ignorantes nos negamos a creer. Cualquier molestia que pueda generar la incertidumbre sirve a un propósito más elevado: nos conduce a acumular mejores datos. En esta actitud reside la diferencia entre la ciencia y tantas otras cosas. La ciencia ofrece pocas emociones baratas. Los criterios de la evidencia son rigurosos. Pero, si los seguimos, nos permiten ver muy lejos, siendo incluso capaces de iluminar una profunda oscuridad.

CAPÍTULO 21

¡HACIA EL CIELO!

La escalera del cielo ha sido desplegada para él, para que pueda ascender por ella hasta el cielo. Oh dioses, colocad vuestros brazos bajo el rey: levantadle, izadle hacia el cielo. ¡Hacia el cielo! ¡Hacia el cielo!

Himno a un faraón muerto (Egipto, aprox. 2600 a. J.C.)

Cuando mis abuelos eran niños, la luz eléctrica, el coche, el avión y la radio eran avances tecnológicos asombrosos, las maravillas de la época. Sobre ellos se escuchaban historias alucinantes, pero no había ni un solo ejemplar en aquel pequeño pueblo del Imperio austrohúngaro, a orillas del río Bug. Pero en esa misma época, hacia fines del siglo pasado, hubo dos hombres que previeron otras invenciones mucho más ambiciosas, Konstantin Tsiolkovsky, el teórico, un maestro de escuela al borde de la sordera, oriundo del lóbrego pueblo ruso de Kaluga, y Robert Goddard, el ingeniero, profesor en un *college* americano casi igual de lóbrego, del estado de Massachusetts. Los dos soñaban en utilizar cohetes para viajar a los planetas y a las estrellas. Paso a paso fueron desarrollando los principios físicos fundamentales y muchos de los detalles relacionados con su sueño. Sus máquinas fueron tomando forma paulatinamente. A la larga, su sueño se revelaría contagioso.

En su época, la idea de estos pioneros fue considerada vergonzosa, un síntoma claro de algún oscuro trastorno mental. Goddard se encontró con que el mero hecho de mencionar un viaje a otros mundos le dejaba en ridículo, y no se atrevió a publicar, ni siquiera a exponer en público, su visión a largo plazo de los vuelos con destino a las estrellas. Cuando eran adolescentes, ambos tuvieron visiones epifanales sobre vuelos espaciales, visiones que ya nunca los abandonarían. «Todavía tengo sueños en los que surco el cielo en mi máquina, con rumbo a las estrellas —escribió Tsiolkovsky en el ecuador de su vida—. Resulta difícil trabajar siempre solo durante tantos años, en condiciones adversas, sin una chispa de esperanza y sin ninguna ayuda.» Muchos de sus contemporáneos pensaban realmente que estaba loco. Los que «sabían más» de física que Tsiolkovsky y Goddard —incluyendo a *The New York Times* en un descalificador artículo editorial del que no se retractaría hasta los albores de la misión del *Apolo 11*— insistieron en que los cohetes no funcionarían en el vacío, que la Luna y los planetas quedarían eternamente fuera del alcance de los seres humanos.

Una generación más tarde, inspirado por Tsiolkovsky y Goddard, Wernher von Braun construía el primer cohete capaz de llegar a los bordes del espacio, el V-2. Pero, en una de esas ironías de las que el siglo XX está repleto, Von Braun lo llevó a cabo por encargo de los nazis, como un instrumento para la matanza indiscriminada de civiles, como un «arma al servicio de la venganza» en poder de

Hitler, con las fábricas de cohetes movidas por mano de obra sometida a la esclavitud, exigiendo la construcción de cada cohete indecibles sufrimientos humanos, y con el propio Von Braun convertido en oficial de las SS. «Teníamos la Luna por objetivo, pero en su lugar alcanzamos Londres», bromeaba sin inmutarse.

Una generación más tarde, basándonos en el trabajo de Tsiolkovsky y Goddard y superando el genio de Von Braun, conseguimos llegar al espacio, circunnavegar silenciosamente la Tierra y pisar la antigua y desolada superficie lunar. Nuestras máquinas —cada vez más competentes y autónomas— se han extendido por el sistema solar, descubriendo nuevos mundos, examinándolos a conciencia, buscando vida en ellos y comparándolos con la Tierra.

Ésa es una de las razones por las que, en una perspectiva astronómica amplia, hay algo de realmente trascendental en el «ahora», que podemos definir como los pocos siglos centrados en el año en que el lector está leyendo este libro. Y hay todavía una segunda razón: es la primera vez en la historia de nuestro planeta en que una especie se ha convertido en un peligro para sí misma y para un enorme número de otras especies, a consecuencia de sus propias acciones voluntarias. Recordemos cómo:

- Hemos estado quemando carburantes fósiles durante cientos de miles de años. Para 1960 éramos tantos los que quemábamos madera, carbón, aceite y gas natural, y a tan gran escala, que los científicos empezaron a preocuparse por el creciente efecto invernadero; los peligros de un calentamiento global comenzaron a filtrarse lentamente en la conciencia pública.
- Los CFC fueron inventados en las décadas de los veinte y los treinta; en 1974 se descubrió que atacaban la capa protectora de ozono. Quince años más tarde entraba en vigor, a escala mundial, la prohibición de producirlos.
- Las armas nucleares fueron inventadas en 1945. Hasta 1983 no se comprendieron las consecuencias globales de una hipotética guerra termonuclear. Hacia 1992 se inició el desmantelamiento de grandes cantidades de cabezas nucleares.
- El primer asteroide se descubrió en 1801. Propuestas más o menos serias para desplazarlos de un lugar a otro han sido lanzadas desde 1980. El reconocimiento del potencial peligro que encierra la tecnología de desvío de asteroides se produjo poco después.
- La guerra biológica nos ha acompañado durante siglos, pero su letal emparejamiento con la biología molecular es bastante reciente.
- Nosotros, los humanos, hemos precipitado ya la extinción de especies a una escala sin precedentes desde el final del periodo cretáceo. Pero la magnitud de estas extinciones no se ha puesto de manifiesto hasta esta última década, al igual que la creciente posibilidad de que, en nuestra ignorancia de las interrelaciones de la vida en la Tierra, podamos estar poniendo en peligro nuestro propio futuro.
- Fijémonos en las fechas de esta lista y consideremos la profusión de nuevas

tecnologías que se están desarrollando en la actualidad. ¿No es probable que queden todavía por descubrir otros peligros producto de nuestras propias acciones, algunos de ellos quizá aún más graves?

En el embarullado campo de los desacreditados chauvinismos autocongratulatorios, solamente hay uno que parece sostenerse, un aspecto en el que «somos especiales: a causa de nuestras acciones o inacciones y del uso indebido de nuestra tecnología, vivimos en un momento extraordinario, al menos para la Tierra; es la primera vez que una especie se ha vuelto capaz de autodestruirse. Pero también es la primera vez, recordémoslo, que una especie se ha vuelto capaz de viajar a los planetas y a las estrellas. Ambos acontecimientos, que ha hecho posibles la misma tecnología, coinciden en el tiempo, unos pocos siglos en la historia de un planeta de 4500 millones de años de antigüedad. Si nos dejaran caer en la Tierra al azar, en algún momento del pasado o del futuro, las posibilidades de llegar en este momento crítico serían inferiores a uno entre diez millones. Nuestro poder de influencia sobre el futuro es elevado en este preciso momento.

Podría tratarse de una progresión corriente, que podría tener lugar en muchos mundos: un planeta recién formado gira plácidamente alrededor de su estrella; la vida emerge con lentitud; una procesión calidoscópica de criaturas va evolucionando; surge la inteligencia, que, al menos hasta cierto punto, confiere un enorme valor de supervivencia; y entonces se inventa la tecnología. Se empieza a comprender que hay cosas tales como las leyes de la Naturaleza, que estas leyes pueden revelarse por la vía del experimento y que el conocimiento de las mismas puede emplearse tanto para salvar como para eliminar vidas, ambas cosas a una escala sin precedentes. La ciencia, reconocen, garantiza inmensos poderes. En un abrir y cerrar de ojos crean dispositivos que pueden alterar el mundo. Algunas civilizaciones planetarias encuentran el camino, establecen límites sobre lo que se puede y lo que no se debe hacer, y logran superar con éxito la época de los peligros. Otras, menos afortunadas o prudentes, perecen en el intento.

Dado que, a largo plazo, cualquier sociedad planetaria se verá amenazada por impactos procedentes del espacio, toda civilización superviviente está obligada a abordar la navegación espacial, no por ahínco exploratorio o romántico, sino por la razón más práctica imaginable: permanecer vivos. Y una vez ahí fuera en el espacio durante siglos y milenios, moviendo pequeños mundos de un lugar a otro y practicando la ingeniería planetaria, nuestra especie se habrá alejado de su cuna. Si es que existen, muchas otras civilizaciones acabarán aventurándose lejos de casa.

¿Le quedarían ganas a una civilización planetaria que ha sobrevivido a su adolescencia para animar a otras a que desarrollaran sus tecnologías emergentes? Quizá efectuaran un esfuerzo especial para transmitir noticias de su existencia, para difundir el triunfante anuncio de que es posible evitar la autoaniquilación. ¿O tal vez fueran muy cautos, al principio? Habiendo evitado catástrofes provocadas por ellos mismos, puede que tuvieran miedo de dar a conocer su existencia, por

temor a que alguna civilización exaltada, desconocida, ahí fuera en la oscuridad estuviera buscando un *Lebensraum* (hábitat) o babeando por suprimir a un potencial competidor. Ese podría ser un motivo que nos impulsara a explorar los sistemas estelares vecinos, pero con discreción.

Tal vez se mantuvieran en silencio por otra razón: porque transmitir la existencia de una civilización avanzada podría propiciar que las civilizaciones emergentes no se esforzaran al máximo por salvaguardar su futuro, esperando que surgiera alguien de la oscuridad y los salvara de sí mismos.

Se ha propuesto un método para estimar el grado de precariedad de nuestras circunstancias y, remarcablemente, sin dirigir en ningún sentido la naturaleza de los riesgos. J. Richard Gott III es un astrofísico de la Universidad de Princeton. Nos sugiere que adoptemos un principio copernicano generalizado, lo que en otra parte he descrito como el principio de la mediocridad. Existen muchas posibilidades de que no estemos viviendo una época verdaderamente extraordinaria. Apenas nadie la ha vivido nunca. Hay un elevado índice de probabilidades de que hayamos nacido, vivamos nuestros días y fallezcamos en algún punto de la amplísima gama media de la vida de nuestra especie (o civilización, o nación). Casi con seguridad, afirma Gott, no vivimos los comienzos ni el final. Así pues, si nuestra especie es muy joven, se deduce que es improbable que dure mucho, porque si *hubiera* de durar mucho, nosotros (y el resto de los que hoy vivimos) *seríamos* extraordinarios, al vivir, proporcionalmente hablando, tan cerca del principio.

¿Cuál es entonces la proyectada longevidad de nuestra especie? Gott concluye, con el 97,5 % de seguridad, que los humanos no durarán más de ocho millones de años. Este es su límite superior, aproximadamente equivalente a la supervivencia media de muchas especies de mamíferos. En ese caso, nuestra tecnología ni perjudica ni ayuda. Pero el límite inferior de Gott, para el cual reivindica idéntico porcentaje de fiabilidad, es de sólo doce años. No apostaría cuarenta contra uno porque los seres humanos estemos todavía en este mundo para cuando los bebés actuales lleguen a la adolescencia. En la vida diaria hacemos todo lo posible para no incurrir en riesgos tan grandes, para no subir a un avión, por ejemplo, que tenga una posibilidad entre cuarenta de estrellarse. Accederemos a someternos a una operación a la cual sobreviven el 95 % de los pacientes, solamente en el caso de que nuestra enfermedad presente una probabilidad superior al cinco por ciento de llevarnos a la tumba. Unas probabilidades solamente de cuarenta a uno de que nuestra especie sobreviva otros doce años representarían, de ser válida la predicción, una causa de suprema preocupación. Si Gott tiene razón, no sólo puede que nunca lleguemos a tener presencia entre las estrellas, sino que es muy probable que ni siquiera vivamos lo suficiente como para poner el pie en otro planeta.

En mi opinión, este argumento tiene extraños visos de hipocondría. Sin saber nada sobre nuestra especie más que su edad, efectúa estimaciones numéricas, para las que reclama un elevado índice de fiabilidad, con respecto a sus perspectivas de futuro. ¿Cómo lo hace? Nosotros nos ponemos del lado de los ganadores. Los que

ya estaban aquí tienen posibilidades de permanecer aquí. Los recién llegados tienden a desaparecer. La única presunción que resulta bastante plausible es la de que no hay nada especial en el momento en que investigamos la cuestión. ¿Entonces por qué resulta tan insatisfactorio el argumento? ¿Es simplemente que nos sentimos consternados por sus implicaciones?

Una teoría del estilo del principio de mediocridad debe tener un grado de aplicabilidad muy amplio. Pero no somos tan ignorantes como para imaginar que todo es mediocre. *Hay* realmente algo especial en nuestro tiempo, no solamente el chauvinismo temporal que experimentan sin duda todos los que residen en una época determinada, sino algo, como he señalado anteriormente, claramente único y estrictamente relevante para las posibilidades de futuro de nuestra especie: es la primera vez que *a)* nuestra tecnología punta ha llegado al borde del precipicio de la autodestrucción, pero también es la primera vez que *b)* somos capaces de posponer o evitar la destrucción marchándonos a otro lugar, a alguna parte fuera de la Tierra.

Estos dos cúmulos de capacidades, *a* y *b,* hacen que nuestro tiempo sea extraordinario de maneras directamente contradictorias que *a* refuerzan y *b* debilitan a la vez la argumentación de Gott. Desconozco el modo de predecir si las nuevas tecnologías destructivas van a acelerar, más que las nuevas tecnologías espaciales a retrasar, la extinción de la raza humana. Pero como nunca hasta ahora habíamos inventado los medios para autoaniquilarnos y nunca hasta ahora habíamos desarrollado la tecnología para colonizar otros mundos, opino que disponemos de elementos definitivos para afirmar que nuestro tiempo es extraordinario, precisamente en el contexto de la argumentación de Gott. Si eso es verdad, se incrementa de forma significativa el margen de error en este tipo de estimaciones en relación con la longevidad futura. Lo peor es todavía peor y lo mejor aún mejor: nuestras perspectivas a corto plazo son más sombrías si cabe y —en caso de que sobrevivamos al corto plazo— nuestras posibilidades a largo plazo son todavía más brillantes de lo que Gott calcula.

Pero el primer supuesto no es mayor causa de desesperación que el segundo lo es de complacencia. Nada nos obliga a desempeñar un papel de observadores pasivos, hundidos en el desánimo mientras nuestro destino se cumple inexorablemente. Si no podemos coger al destino por el cuello, quizá sí podamos desviarlo o suavizarlo, o bien escapar a él.

Naturalmente, debemos mantener habitable nuestro planeta, y no en un ocioso plazo de siglos o milenios, sino con urgencia, en pocas décadas o incluso años. Ello implicará cambios en su gobierno, en la industria, en la ética, en la economía y en la religión. Nunca hemos hecho antes nada similar, y menos a escala global. Puede que nos resulte difícil. Tal vez las tecnologías peligrosas se encuentren ya demasiado extendidas. La corrupción puede haber penetrado en exceso. Demasiados líderes pueden haberse centrado en el corto plazo, ignorando las perspectivas a largo plazo. Puede que haya demasiados grupos étnicos, naciones y estados en conflicto como para que pueda instituirse el cambio global adecuado.

Puede que seamos demasiado temerarios como para darnos cuenta de cuáles son los peligros reales o de que mucho de lo que escuchamos sobre ellos viene determinado por personas que tienen un interés consumado en reducir al mínimo cambios fundamentales.

Pero los humanos también poseemos tradición en aplicar cambios sociales duraderos que casi todo el mundo creía imposibles. Desde nuestros tiempos primigenios hemos trabajado no sólo para nuestro propio beneficio, sino también para el de nuestros hijos y nietos. Mis abuelos y mis padres lo hicieron por mí. A menudo, a pesar de nuestra diversidad, a pesar de los odios endémicos, nos hemos unido para hacer frente a un enemigo común. En nuestros días, parecemos mucho más dispuestos a reconocer los peligros que tenemos delante de lo que lo estábamos hace sólo una década. Las amenazas que hemos descubierto recientemente pesan sobre todos por igual. Nadie es capaz de decir lo que nos puede pasar.

La luna estaba donde crecía el árbol de la inmortalidad según la antigua leyenda china. Al parecer, el árbol de la longevidad, si no de la inmortalidad, crece de verdad en otros mundos. Si estuviéramos presentes ahí, entre los planetas, si hubiera comunidades humanas autosufícientes en muchos mundos, nuestra especie quedaría a resguardo de catástrofes. La reducción del escudo absorbente de la luz ultravioleta en un mundo supondría un aviso para que se prestara especial atención al problema en otro. Un impacto cataclísmico contra un planeta dejaría probablemente intactos todos los demás. Cuantos más representantes de nuestra especie haya más allá de la Tierra, cuanto mayor sea la diversidad de mundos que habitemos, más variada será la ingeniería planetaria, más rica la gama de sociedades y valores, y más segura podrá sentirse la especie humana.

Si creciéramos bajo tierra, en un mundo con una centésima de la gravedad de la Tierra en el que no vemos más que cielos negros a través de las portillas, tendríamos unas percepciones, intereses, prejuicios y predisposiciones muy distintos de los de una persona que habita en la superficie del planeta madre. Lo mismo nos sucedería si viviéramos en la superficie de Marte, dedicados al penoso esfuerzo de la terraformación, o en Venus, o en Titán. Esta estrategia —dividirnos en multitud de grupos reducidos y que se propagan, cada uno de ellos con aptitudes y preocupaciones diferentes, pero todos marcados por un orgullo local— ha sido empleada con profusión en el proceso de evolución de la vida sobre la Tierra y, en particular, por nuestros antepasados*. De hecho, puede ser clave para la comprensión de por qué los humanos somos como somos.

Esta es la segunda de las justificaciones que faltaban para apoyar una presencia humana permanente en el espacio: mejorar nuestras posibilidades de supervivencia, no solamente en referencia a las catástrofes que podemos prever, sino también a las que no son previsibles. Gott aduce también que el hecho de establecer comunidades humanas en otros mundos es nuestra mejor baza para ganar nuestra apuesta.

* Véase *Sombras de antepasados olvidados,* por Cari Sagan y Ann Druyan, Planeta, Barcelona, 1993.

Contratar esta póliza de seguros no ha de salimos demasiado caro, no a la escala a la que hacemos las cosas en la Tierra. Ni siquiera requeriría doblar los presupuestos espaciales de las naciones que se hallan actualmente en condiciones de viajar al espacio (presupuestos que, en todos los casos, suponen únicamente pequeñas fracciones de los destinados a defensa y de muchos desembolsos voluntarios que podrían considerarse marginales o incluso frívolos). Pronto podríamos estar estableciendo asentamientos humanos en asteroides cercanos a la Tierra y colocando bases en Marte. Sabemos cómo hacerlo, incluso con la tecnología actual, en un plazo inferior a una vida humana. Y la tecnología progresará con rapidez. Iremos mejorando en lo que se refiere a los vuelos espaciales.

Un esfuerzo serio para mandar seres humanos a otros mundos es, en términos relativos, tan barato sobre una base anual que no puede suponer una competencia seria para las agendas sociales urgentes que tiene hoy planteadas la Tierra. Si elegimos ese camino, una tromba de imágenes de otros mundos lloverá sobre la Tierra a la velocidad de la luz. La realidad virtual hará accesible la aventura para los millones de individuos que se han quedado en casa. La participación indirecta será mucho más real que en cualquier otra época de exploración y descubrimientos. Y a cuantas más culturas y personas logre inspirar y estimular, más posibilidades tendrá de salir adelante.

Pero podríamos preguntarnos qué derecho tenemos nosotros a habitar, alterar y conquistar otros mundos. Ésa sería una pregunta importante si hubiera alguien más viviendo en el sistema solar. No obstante, si no hay nadie más que nosotros, ¿por qué no vamos a tener derecho a colonizarlo?

Naturalmente, nuestra exploración y colonización debería estar presidida en todo momento por el respeto a los entornos medioambientales planetarios y al conocimiento científico que encierran. Se trata de una cuestión de simple prudencia. Es evidente también que la exploración y los asentamientos deberían emprenderse de manera equitativa y transnacional, por representantes de toda la especie humana. Nuestra pasada historia colonial no puede servirnos de ejemplo, pues esta vez no estaremos motivados por el oro, las especias, los esclavos o el afán de convertir a los paganos a la única fe verdadera, como lo estaban los exploradores europeos de los siglos XV y XVI. En realidad, ésta es una de las principales razones por las que estamos experimentando un progreso tan intermitente, tan a trompicones, de los programas espaciales tripulados de todas las naciones.

A pesar de todos los provincialismos de los que me he quejado al principio de este libro, en este aspecto me considero un chauvinista humano sin excusa. Si hubiera otros seres vivos en este sistema solar, se verían acechados por un peligro inminente porque los humanos estaban al caer. En un caso así, incluso se me podría convencer de que salvaguardar nuestra especie conquistando otros mundos constituiría una equivocación, al menos en parte, dado el peligro que representaríamos para todos los demás. Pero, en la medida en que podemos

asegurarlo, por lo menos hasta hoy, no hay más vida en este sistema solar, ni siquiera un triste microbio. Solamente hay vida en la Tierra.

En tal caso, en beneficio de la vida terrestre, me atrevo a urgir a que, con pleno conocimiento de nuestras limitaciones, incrementemos ampliamente nuestro conocimiento del sistema solar y nos dispongamos a colonizar otros mundos.

Éstos son los argumentos prácticos que faltaban: salvaguardar la Tierra de impactos catastróficos de otro modo inevitables y compensar nuestra apuesta por muchas otras amenazas, conocidas y desconocidas, para el entorno que nos da la vida. En ausencia de estos argumentos, quizá nos faltarían razones de peso para defender el hecho de mandar seres humanos a Marte y a otros lugares del espacio. Pero con ellos y con los argumentos colaterales relacionados con ciencia, educación, perspectiva y esperanza, opino que la cuestión es susceptible de ser defendida con convicción. Si está en juego nuestra supervivencia a largo plazo, tenemos la responsabilidad fundamental para con nuestra especie de aventurarnos hacia otros mundos.

Marineros estancados en la calma chicha, sentimos la agitación de la brisa.

CAPÍTULO 22

DE PUNTILLAS POR LA VÍA LÁCTEA

Juro por la protección de los astros (un poderoso juramento, si supieras)...
Corán, sura 56
(siglo VII)

Es evidente que resulta extraño dejar de habitar la Tierra, renunciar a unas costumbres que uno apenas ha tenido tiempo de aprender...
RAINER MARÍA RILKE, «La primera elegía»
(1923)

La perspectiva de escalar al firmamento, de ascender al cielo, de alterar otros mundos para que sirvan a nuestros propósitos —independientemente de que llevemos buenas intenciones— dispara de inmediato la alarma: recordamos entonces la inclinación humana hacia el orgullo presuntuoso; nos viene a la memoria nuestra falibilidad y nuestros juicios errados cuando nos vemos confrontados con nuevas y poderosas tecnologías. Rememoramos la historia de la torre de Babel, un edificio «que debía llegar al cielo» y el temor de Dios a que nuestra especie «no encuentre restricciones en nada de lo que se haya propuesto hacer».

Ahí está el salmo *15,* que reivindica la filiación divina de los demás mundos: «Los cielos pertenecen al Señor, pero ha cedido la Tierra para los hijos del hombre.» O la versión de Platón del análogo griego de Babel, la leyenda de Otys y Ephialtes. Hubo unos mortales que «se atrevieron a subir al cielo». Los dioses se vieron ante la necesidad de tener que elegir. ¿Debían eliminar a esos advenedizos humanos «y aniquilar su raza enviándoles un rayo»? Por una parte, «eso significaría el fin de los sacrificios y de la devoción que les ofrecían los hombres», prebendas a las que ellos no deseaban renunciar. «Pero, por otra parte, los dioses no podían tolerar que tamaña insolencia quedara impune.»

Sin embargo, si a largo plazo no tenemos otra alternativa, si nuestra elección está entre muchos mundos o ninguno, lo que necesitamos son otro tipo de leyendas, leyendas que nos estimulen. Y de hecho existen. Muchas religiones, del hinduismo al cristianismo gnóstico, pasando por la doctrina mormona, postulan —por más impío que pueda sonar— que el objetivo del ser humano estriba en alcanzar la condición de dios. O bien consideremos una historia que aparece en el Talmud judío y que fue omitida en el libro del Génesis. (Se halla en indudable relación con el relato de la manzana, el árbol del conocimiento, el pecado original y la expulsión del Edén.) En el jardín del Paraíso, Dios dice a Eva y a Adán que ha

dejado intencionadamente inacabado el universo. Será responsabilidad de los humanos, a lo largo de incontables generaciones, colaborar con Dios en un «glorioso» experimento, el de «concluir la Creación».

Una responsabilidad de esa envergadura supone una carga pesada, especialmente para una especie tan débil e imperfecta como la nuestra, con una historia tan desdichada. Nada remotamente similar a la «conclusión» puede abordarse sin un nivel mucho mayor de conocimientos del que hoy poseemos. Pero tal vez si nuestra misma existencia corre peligro, nos veremos capaces de estar a la altura de ese desafío supremo.

Aunque no empleó prácticamente ninguno de los argumentos del capítulo anterior, Robert Goddard intuyó que «debía emprenderse la navegación del espacio interplanetario para asegurar la continuidad de la raza». Konstantin Tsiolkovsky expresó una opinión similar:

> Existen incontables planetas, muchas Tierras isla... El hombre ocupa una de ellas. ¿Por qué no iba a aprovecharse de otras y del poder de innumerables soles?... Cuando el Sol haya agotado su energía, sería lógico abandonarlo y buscar otra estrella, recién alumbrada y en toda su plenitud.

Y ello podrían emprenderlo antes, sugirió, mucho antes de que el Sol muera, «almas aventureras, en busca de mundos frescos por conquistar».

No obstante, cuando reviso toda esta argumentación, me preocupa. ¿Recuerda demasiado a Buck Rogers? ¿Acaso exige una confianza absurda en la tecnología futura? ¿Ignora mis propias advertencias acerca de la falibilidad humana? Lo que es seguro es que, a corto plazo, predispone en contra de las naciones tecnológicamente menos desarrolladas. ¿No existen alternativas prácticas para evitar estos peligros latentes?

Todos los problemas medioambientales que nos hemos autoinfligido, todas nuestras armas de destrucción masiva son productos de la ciencia y la tecnología. Podríamos pensar quizá en retirarnos de la vía científica y tecnológica. Podríamos admitir que, sencillamente, esas herramientas queman demasiado para tocarlas. Podríamos optar por crear una sociedad más simple, en la que aunque seamos descuidados o cortos de miras, no nos sea posible alterar el medio ambiente a escala global o incluso regional. Podríamos retroceder hacia un nivel tecnológico mínimo, intensivo en el ámbito de la agricultura, con rigurosos controles sobre los nuevos conocimientos. Una teocracia autoritaria constituye un método probado para hacer cumplir los controles.

Sin embargo, una cultura mundial de esas características es inestable, a largo plazo si no a corto, dada la velocidad de los avances tecnológicos. La propensión humana hacia el progreso, la envidia y la competencia latirán siempre en el subsuelo; tarde o temprano se aprovecharán las oportunidades para conseguir una ventaja local. A menos que se impongan severas restricciones sobre el pensamiento y la acción, en un tris estaremos de nuevo donde nos hallamos hoy. Una sociedad tan controlada debe garantizar enormes poderes a la élite que lleva a cabo el

control, invitando al abuso flagrante y a una eventual rebelión. Es muy difícil —una vez conocidas las riquezas, comodidades y medicinas capaces de salvar vidas que ofrece la tecnología— ahogar el ingenio y la avidez humanos. Y mientras semejante involución de la civilización global, de ser posible, solucionaría previsiblemente el problema de la catástrofe tecnológica autoinfligida, nos dejaría por otra parte indefensos frente a eventuales impactos de asteroides y cometas.

También podríamos imaginarnos retrocediendo mucho más atrás, hasta la sociedad de cazadores-recolectores, en la que viviríamos de los productos naturales de la tierra y abandonaríamos incluso la agricultura. La jabalina, el arco, las flechas y el fuego serían en ese caso toda la tecnología que necesitaríamos. Pero la Tierra podría mantener como mucho a unas pocas decenas de millones de cazadores-recolectores. ¿Cómo podríamos reducir la población hasta esos niveles sin instigar las mismas catástrofes que tratamos de evitar? Aparte de eso, apenas sabríamos vivir como cazadores-recolectores: hemos olvidado cómo era su cultura, sus habilidades, sus herramientas. Hemos acabado con casi todos los que quedaban y destruido gran parte del entorno que los sustentaba. Exceptuando una minúscula fracción de nosotros, posiblemente no seríamos capaces, aun asignándole la máxima prioridad, de volver atrás. Y de nuevo, aunque pudiéramos retroceder, quedaríamos indefensos ante la catástrofe del impacto que inexorablemente llegará.

Las alternativas parecen más que crueles: son ineficaces. Muchos de los peligros a los que nos enfrentamos arrancan, efectivamente, de la ciencia y la tecnología, pero más concretamente porque nos hemos vuelto poderosos sin volvernos sensatos en la misma medida. Los poderes capaces de alterar el mundo que la tecnología ha puesto en nuestras manos requieren hoy un grado de consideración y previsión que nunca se nos había exigido con anterioridad.

La ciencia ofrece dos caminos, está claro; sus productos pueden utilizarse para el bien y para el mal. Pero no hay vuelta atrás para la ciencia. Las primeras advertencias acerca de los peligros tecnológicos proceden también de la ciencia. Y las soluciones pueden muy bien exigir más de nosotros que un simple arreglo tecnológico. Muchas personas tendrán que adquirir cultura científica. Puede que tengamos que cambiar instituciones y comportamientos. Pero nuestros problemas, sea cual sea su origen, no pueden ser solventados prescindiendo de la ciencia. Tanto las tecnologías que nos amenazan como la eliminación de esas amenazas manan de la misma fuente. Ambas corren parejas.

En cambio, con sociedades humanas establecidas en diversos mundos, nuestras perspectivas serían mucho más favorables. Nuestros valores estarían diversificados. Habríamos colocado nuestros huevos, casi literalmente, repartidos en varias cestas. Cada sociedad se sentiría inclinada a estar orgullosa de las virtudes de su mundo, de su ingeniería planetaria, de sus convenciones sociales, de sus predisposiciones hereditarias. Necesariamente, se cuidarían y exagerarían las diferencias culturales. Esa diversidad serviría como herramienta de supervivencia.

Cuando los asentamientos fuera de la Tierra fueran más capaces de valerse por sí mismos, tendrían buenas razones para fomentar el avance tecnológico, la abertura de miras y la aventura, aunque los que quedaran en la Tierra estuvieran obligados a ser cautelosos, a temer los nuevos conocimientos y a instituir controles sociales draconianos. Una vez asentadas las primeras comunidades autosuficientes en otros mundos, quizá los habitantes de la Tierra pudieran también relajarse un poco y volverse más alegres. Los humanos en el espacio proporcionarían a los de la Tierra una protección real contra excepcionales pero catastróficas colisiones de asteroides o cometas con trayectorias errantes. Naturalmente, por esa misma razón, los humanos residentes en el espacio dominarían en caso de alguna disputa seria con los de la Tierra.

Las perspectivas de una época así contrastan enormemente con las predicciones que apuntan a que el progreso de la ciencia y la tecnología se encuentran actualmente cerca de un límite asintótico; que el arte, la literatura y la música nunca se acercarán, y mucho menos superarán, el apogeo que nuestra especie ha alcanzado ya en alguna ocasión, y que la vida política sobre la Tierra está a punto de cristalizar en un gobierno mundial de corte democrático liberal, estable como una roca, identificado, según Hegel, como «el final de la historia». Una expansión de estas características hacia el espacio contrasta también con una tendencia —distinta pero claramente perceptible en los últimos tiempos— hacia el autoritarismo, la censura, los conflictos étnicos y un profundo recelo ante la curiosidad y las ganas de aprender. En cambio, pienso que, después de una etapa de limpieza a fondo, la colonización del sistema solar presagia una era abierta a deslumbrantes avances de la ciencia y la tecnología, el florecimiento cultural, así como experimentos de gran alcance tanto ahí arriba, en el cielo, como aquí abajo, en nuestra organización social y de gobierno. En más de un contexto, la exploración del sistema solar y la toma de posiciones en otros mundos constituye, más que el final, el comienzo de la historia.

Resulta imposible, al menos para nosotros, los seres humanos, adivinar el futuro, y todavía más con siglos de antelación. Nadie lo ha logrado nunca, al menos de forma coherente y detallada. Y, desde luego, yo no me considero capaz de hacerlo. Si he llegado, admito que con cierto azoramiento, tan lejos como lo he hecho hasta ahora en este libro, es porque estamos sólo empezando a reconocer los retos verdaderamente sin precedentes que ha traído consigo nuestra tecnología. En mi opinión, estos desafíos tienen en ciertos casos implicaciones directas, algunas de las cuales he tratado de exponer con brevedad. También conllevan implicaciones menos directas, a mucho más largo plazo, de las que me siento aún menos seguro. Sin embargo, me gustaría exponerlas también a su consideración:

Incluso cuando nuestros descendientes se hayan establecido en los asteroides cercanos a la Tierra, en Marte, así como en las lunas del sistema solar exterior y del Cinturón de cometas Kuiper, no estarán del todo seguros. A la larga, el Sol puede generar asombrosos estallidos de rayos X y ultravioletas; el sistema solar entrará en una de las enormes nubes interestelares cercanas que se hallan al acecho y los

planetas se oscurecerán y enfriarán; una lluvia de letales cometas surgirá rugiendo de la Nube de Oort, amenazando las civilizaciones de muchos mundos adyacentes; nos daremos cuenta de que una estrella de las proximidades está a punto de convertirse en una supernova. En el largo plazo *real,* el Sol —de camino a convertirse en una estrella gigante roja— se irá haciendo más grande y brillante, el aire y el agua de la Tierra comenzarán a escaparse al espacio, el suelo se carbonizará, los océanos hervirán y se evaporarán, las rocas se vaporizarán y es posible, incluso, que nuestro planeta sea engullido por el Sol.

Lejos de haber sido creado para nosotros, con el tiempo el sistema solar se volverá demasiado peligroso para nuestra especie. A la larga, tener todos los huevos guardados en una sola cesta estelar, independientemente de lo fiable que haya sido hasta ahora el sistema solar, puede resultar demasiado arriesgado. A largo plazo, pues, como supieron reconocer hace mucho tiempo Tsiolkovsky y Goddard, deberemos abandonar el sistema solar.

Pero si eso es cierto por cuanto respecta a nosotros, ¿por qué no va a serlo para otros? Y si es cierto en lo que afecta a otros seres, ¿por qué no están aquí? Existen muchas respuestas posibles, incluyendo el punto de vista de que *ya* nos han visitado, si bien, lamentablemente, las evidencias que lo apoyan son prácticamente insignificantes. O puede que no haya nadie más ahí fuera, porque se destruyen a sí mismos, casi sin excepción, antes de alcanzar la facultad de volar al espacio interestelar; o porque, en una galaxia de cuatrocientos mil millones de soles, la nuestra es la primera civilización técnica.

Una explicación más plausible, pienso yo, emana del simple hecho de que el espacio es inmenso y las estrellas están separadas por enormes distancias. Aunque existieran civilizaciones mucho más antiguas y avanzadas que la nuestra —expandiéndose a partir de sus mundos de origen, remodelando nuevos mundos y prosiguiendo luego su camino hacia otras estrellas— sería improbable, según los cálculos realizados por William I. Newman, de UCLA, y yo mismo, que hubieran llegado aquí. Y dado que la velocidad de la luz es finita, las señales de TV y radar que deberían anunciarles que en un planeta del Sol ha surgido una civilización técnica, no los han alcanzado. Todavía.

En caso de que las estimaciones optimistas tuvieran validez y una de entre cada millón de estrellas amparara a una civilización tecnológica cercana, y si todas ellas estuvieran esparcidas al azar por la galaxia Vía Láctea —si se cumplieran esas condiciones—, la más cercana, recordémoslo, estaría situada a unos cuantos cientos de años luz de distancia: lo más cerca, tal vez cien años luz, pero es más probable que estuviera a mil años luz, y, naturalmente, quizá no se encuentra en ninguna parte, independientemente de la distancia. Supongamos que la civilización más cercana sobre un planeta perteneciente a otra estrella se sitúa, por decir algo, a doscientos años luz. En ese caso, dentro de unos ciento cincuenta años empezarán a recibir nuestras débiles emisiones de televisión y radar de los años posteriores a la segunda guerra mundial. ¿Qué van a hacer con eso? A cada año que pase aumentará la intensidad de la señal, ésta se hará más interesante y tal vez más

alarmante. Con el tiempo puede que se decidan a contestar: ya sea devolviendo un mensaje de radio o bien honrándonos con una visita. En ambos casos la respuesta se verá limitada, probablemente, por el valor finito de la velocidad de la luz. Con estos números tan descaradamente inciertos, la respuesta a nuestra llamada no intencionada a las profundidades del espacio, enviada a mitad del presente siglo, no nos llegará hasta los albores del año 2350. Si se encuentran aún más lejos, claro está, tardará más tiempo; y si lo están mucho más, todavía más. Existe la interesante posibilidad de que nuestra primera recepción de un mensaje procedente de una civilización extraterrestre, un mensaje expresamente dirigido a nosotros (no simplemente un boletín lanzado al buen tuntún), se produzca en una época en la que estemos bien situados en muchos mundos de nuestro sistema solar, preparándonos ya para proseguir nuestra expansión.

No obstante, con mensaje o sin él, tendremos motivos suficientes para continuar adelante, en busca de otros sistemas solares. O —todavía más seguro para nosotros en este imprevisible y violento sector de la galaxia— para separar a una porción de nuestra especie en hábitats autosuficientes en el espacio interestelar, lejos de los peligros que suponen las estrellas. Un futuro así iría evolucionando, según mi parecer, de forma natural, mediante pequeños incrementos, aun en ausencia de un claro objetivo de viaje interestelar:

Por razones de seguridad, algunas comunidades podrían optar por romper sus vínculos con el resto de la Humanidad y seguir su camino sin influencias de otras sociedades, con códigos éticos distintos y otros imperativos tecnológicos. En una época en que los cometas y asteroides serían reposicionados de manera rutinaria, tendríamos la potestad de poblar un mundo pequeño y luego dejar que funcionara a su libre albedrío. En generaciones sucesivas, a medida que dicho mundo se fuera alejando, la Tierra iría cambiando para ellos de estrella brillante a pálido puntito y, al final, acabaría por desaparecer; el Sol se iría apagando hasta quedar en un punto vagamente amarillo, perdido entre otros miles. Los viajeros irían acercándose a la noche interestelar. Algunas de esas comunidades se contentarían tal vez con comunicaciones esporádicas por radio y por láser con sus mundos de origen. Otras, confiadas de la superioridad de sus propias posibilidades de supervivencia y precavidas ante la contaminación, intentarían quizá desaparecer. Puede que al final se perdiera todo contacto con ellos y su misma existencia quedara relegada al olvido.

No obstante, los recursos de un asteroide o cometa son finitos, por grande que éste sea, y a la larga sería necesario buscarlos en otra parte, especialmente el agua, indispensable para beber, para el mantenimiento de una atmósfera respirable de oxígeno y para conseguir la energía necesaria para los reactores de fusión. Así pues, a largo plazo, estas comunidades deberían migrar de mundo en mundo sin demostrar una lealtad duradera a ninguno. Podríamos llamarlo «colonización» o también «toma de posiciones», aunque un observador menos escrupuloso tal vez lo describiera como explotación descarada de los recursos de un pequeño mundo tras otro. Pero la Nube de cometas de Oort se compone de un billón de pequeños

mundos.

Viviendo en grupos pequeños, en un modesto mundo madrastra lejos del Sol, tendríamos muy presente que cada migaja de alimento y cada gota de agua que consumimos depende del funcionamiento ininterrumpido de una tecnología previsora, pero estas condiciones no son radicalmente distintas de aquellas a las que ya estamos acostumbrados. Extraer recursos del subsuelo y dar caza a los que transitan ante nosotros se nos antoja singularmente familiar, como un olvidado recuerdo de infancia: es, con unos cuantos cambios significativos, la estrategia de nuestros antepasados cazadores-recolectores. Durante el 99,9 % de la andadura del hombre sobre la Tierra hemos llevado este tipo de vida. A juzgar por la existencia de algunos de los últimos supervivientes cazadores-recolectores antes de que fueran engullidos por la civilización global de nuestros días, debimos de ser relativamente felices. Ese es el tipo de vida que nos forjó. Así pues, tras un breve experimento saldado con un éxito parcial podemos convertirnos en nómadas una vez más, más tecnológicos, eso sí, que la última vez, pero incluso en aquel entonces nuestra tecnología —los instrumentos de piedra y el fuego— fueron nuestra única baza para luchar contra la extinción.

Si la salvación reside en el aislamiento y la lejanía, nuestros descendientes emigrarán a la larga hacia los cometas más exteriores de la Nube de Oort. Con un billón de núcleos cometarios, cada uno de ellos separado del siguiente por una distancia equiparable a la que media entre la Tierra y Marte, habrá mucho por hacer ahí fuera.

Aunque no tengamos demasiada prisa, puede que para entonces seamos capaces de hacer que los mundos pequeños se muevan a mayor velocidad de lo que hoy conseguimos que lo haga una nave espacial. De ser así, nuestros descendientes acabarán por adelantar a las dos naves *Voyager,* lanzadas en el remoto siglo XX, antes de que éstas dejen atrás la Nube de Oort para adentrarse en el espacio interestelar. Tal vez decidan recuperar estas astronaves, auténticas reliquias del pasado. O quizá opten por permitir que prosigan su camino.

El margen más exterior de la Nube de Oort del Sol se halla posiblemente a mitad de camino hasta la estrella más cercana. No todas las estrellas poseen una Nube de Oort, pero es probable que muchas sí la tengan. Cuando el Sol pase junto a estrellas cercanas, nuestra Nube de Oort se encontrará —y en parte pasará a su través— con otras nubes de cometas, como dos enjambres de abejas interpenetrándose sin colisionar. En ese momento, ocupar un cometa de otra estrella no debería resultar mucho más difícil que colonizar uno de la nuestra. Desde las fronteras de algún otro sistema solar, los hijos del punto azul atisbarían anhelosamente los puntos de luz ambulantes, que denotarían cuantiosos (y bien iluminados) planetas. Algunas comunidades —sintiendo agitarse en su interior el antiguo amor humano por los océanos y la luz solar— optarían por iniciar el largo viaje de descenso hacia los brillantes, pálidos y acogedores planetas de un nuevo sol.

Otras comunidades tal vez consideraran esa estrategia como una debilidad. No

en vano los planetas van asociados con catástrofes naturales; pueden, además, albergar vida inteligente; son fácilmente localizables por otros seres. Es mejor continuar en la oscuridad. Mejor diseminarse por numerosos mundos pequeños y oscuros. Mejor permanecer ocultos.

En cuanto seamos capaces de enviar nuestras máquinas y a nosotros mismos lejos de los planetas, cuando penetremos por fin en el teatro de operaciones del universo, es muy probable que nos topemos con fenómenos que no tengan parangón con nada de lo que nos hemos encontrado hasta ahora. He aquí tres ejemplos:

Primero: alejándonos unas *550* unidades astronómicas (UA) —unas diez veces más lejos del Sol que Júpiter, y por ello mucho más accesible que la Nube de Oort—, daremos con un fenómeno extraordinario. Al igual que una lente ordinaria enfoca imágenes distantes, la gravedad también. (El enfoque a través del campo gravitatorio de estrellas y galaxias distantes está empezando a ser detectado en la actualidad.) A *550* UA del Sol —a sólo un año de distancia si pudiéramos viajar a un uno por ciento de la velocidad de la luz— es donde comienza el enfoque (aunque si se tienen en cuenta los efectos de la corona solar, el halo de gas ionizado que rodea al Sol, el enfoque puede situarse considerablemente más lejos). En esa zona, las remotas señales de radio aumentan enormemente, amplificando susurros. La ampliación de imágenes distantes nos permitiría (con un radiotelescopio modesto) distinguir un continente desde la distancia de la estrella más cercana y el sistema solar interior desde la distancia de la galaxia espiral más próxima. Si tenemos libertad para hacer deambular una esfera imaginaria a la distancia focal apropiada y centrada en el Sol, también somos libres de explorar el universo con un maravilloso aumento, contemplarlo con una claridad sin precedentes, escuchar furtivamente las señales de radio de civilizaciones remotas, si hay alguna, y dar un vistazo a los primeros acontecimientos que se produjeron en su historia. Alternativamente, la lente podría utilizarse al revés, para amplificar una muy modesta señal de las nuestras, a fin de que pudiera ser oída a distancias inmensas. Existen razones que nos atraen a cientos y miles de UA. Otras civilizaciones tendrán sus propias regiones de enfoque gravitatorio, dependiendo de la masa y el radio de sus estrellas, algunas un poco más cerca y otras un poco más lejos que la nuestra. El enfoque gravitatorio puede servir a las civilizaciones de aliciente común para explorar las regiones que se encuentran justo después de las partes planetarias de sus sistemas solares.

Segundo: pensemos un momento en enanas marrones, hipotéticas estrellas de muy baja temperatura, considerablemente más masivas que Júpiter, pero mucho menos que el Sol. Nadie sabe si las enanas marrones existen. Algunos expertos, utilizando las masas de estrellas más cercanas para detectar la presencia de otras más distantes mediante enfoque gravitatorio, reivindican haber hallado evidencias de la existencia de enanas marrones. A partir de la minúscula fracción del cielo que se ha observado hasta ahora mediante esta técnica, se deduce un número enorme de enanas marrones. Si eso es verdad, puede haber en la galaxia más enanas

marrones que planetas. En los años cincuenta, el astrónomo Harlow Shapley, de Harvard, sugirió que las enanas marrones —él las llamaba «estrellas liliputienses»— estaban habitadas. Imaginó sus superficies tan cálidas como un día de junio en Cambridge, y con abundante terreno.

Tercero: el físico B. J. Carr y Stephen Hawking, de la Universidad de Cambridge, han demostrado que fluctuaciones en la densidad de la materia, en los estadios más primitivos del universo, podrían haber generado una amplia variedad de pequeños agujeros negros. Los agujeros negros primordiales —en caso de existir— deben desintegrarse emitiendo radiación al espacio, a consecuencia de las leyes de la mecánica cuántica. Cuanto menos masivo es el agujero negro, más rápido se disipa. Cualquier agujero negro primordial que actualmente se encuentre en sus fases finales de desintegración tendría que pesar casi tanto como una montaña. Todos los menores que eso han desaparecido. Dado que la abundancia —por no mencionar la existencia— de agujeros negros primordiales depende de lo que ocurrió en los primeros momentos tras el big bang, nadie puede tener la certeza de que vaya a encontrarse alguno; y desde luego no podemos saber si hay alguno cerca de nosotros. No se han establecido límites superiores demasiado restrictivos en lo que se refiere a la cantidad, al no haber podido hasta ahora detectar pulsos de rayos gamma, un componente de la radiación Hawking.

En un estudio separado, G. E. Brown, de Caltech, y el pionero físico nuclear Hans Bethe, de Cornell, sugieren que cerca de mil millones de agujeros negros no primordiales, generados en los procesos evolutivos de las estrellas, se hallan esparcidos por la galaxia. De ser así, el más cercano podría estar solamente a diez o veinte años luz de distancia.

Si hay agujeros negros a nuestro alcance —ya sean tan masivos como montañas o como estrellas— dispondremos de unos fenómenos físicos sorprendentes para estudiar, así como una formidable nueva fuente de energía. En modo alguno estoy afirmando que existan enanas marrones y agujeros negros primordiales a una distancia de pocos años luz o donde sea. Pero cuando penetremos en el espacio interestelar, será inevitable que tropecemos con categorías completamente nuevas de maravillas, algunas de ellas con aplicaciones prácticas transfiguradoras.

No sé dónde concluye mi argumentación. Cuando pase más tiempo, nuevos y atractivos habitantes del zoo cósmico nos atraerán todavía más hacia fuera, y catástrofes letales crecientemente improbables tendrán que producirse. Las probabilidades son acumulativas. Pero, a medida que vaya transcurriendo el tiempo, las especies tecnológicas irán acrecentando más y más sus poderes, superando con mucho lo que hoy somos capaces de imaginar. Tal vez, si somos muy ingeniosos (la suerte, pienso yo, no va a ser suficiente), finalmente nos multiplicaremos lejos de casa, navegando a través del estrellado archipiélago de la inmensa galaxia Vía Láctea. En el caso de que encontremos a alguien más —o, más probablemente, de que nos encuentren— nos relacionaremos de manera armoniosa. Dado que es muy probable que otras civilizaciones de navegantes del espacio sean mucho más avanzadas que nosotros, los humanos pendencieros no

tendrán demasiadas posibilidades de perdurar en el espacio interestelar.

A la larga, nuestro futuro podría ser como Voltaire —precisamente él tenía que ser— lo imaginó:

> A veces con la ayuda de un rayo de sol, y otras por la conveniencia de un cometa, fueron deslizándose de esfera en esfera, como un pájaro salta de rama en rama. En muy poco tiempo, atravesaban raudos la Vía Láctea...

Estamos descubriendo, incluso ahora, enormes cantidades de discos de gas y polvo alrededor de estrellas jóvenes, las mismas estructuras a partir de las cuales, 4500 millones de años atrás en nuestro sistema solar, se formaron la Tierra y los planetas. Estamos empezando a comprender cómo finos granos de polvo se convierten en mundos, cómo grandes planetas similares a la Tierra se acretan y luego capturan rápidamente hidrógeno y helio para formar los núcleos ocultos de gigantes gaseosos, y cómo los pequeños planetas terrestres se quedan comparativamente escasos de atmósfera. Estamos reconstruyendo la historia de los mundos, cómo se reunieron principalmente hielos y materia orgánica en los fríos suburbios del sistema solar primitivo, y básicamente roca y metal en las regiones interiores calentadas por un joven Sol. Hemos empezado a reconocer el papel predominante de las colisiones primitivas a la hora de voltear mundos, excavar enormes cráteres y cuencas en sus superficies e interiores, hacerlos girar, crear y destruir lunas, formar anillos, y luego depositar una capa de materia orgánica, a modo de hábil toque final en la creación de mundos. Estamos empezando a aplicar este conocimiento a otros sistemas.

En las próximas décadas dispondremos de una oportunidad real para examinar la disposición y algo de la composición de muchos otros sistemas planetarios maduros que rodean a estrellas cercanas. Empezaremos a conocer qué aspectos de nuestro sistema constituyen la regla y qué otros la excepción. ¿Qué resulta más común, planetas como Júpiter, planetas como Neptuno o planetas como la Tierra? ¿O bien todos los demás sistemas poseen Júpiters, Neptunos y Tierras? ¿Qué otras categorías de mundo existen que desconozcamos en la actualidad? ¿Están todos los sistemas solares incrustados en una vasta nube esférica de cometas? La mayor parte de las estrellas del cielo no son soles solitarios como el nuestro, sino sistemas dobles o múltiples en los cuales las estrellas se orbitan mutuamente. ¿Hay planetas en esos sistemas? De ser así, ¿cómo son? Si, como ahora creemos, los sistemas planetarios constituyen una consecuencia rutinaria del origen de soles, ¿han seguido en otra parte caminos evolutivos muy distintos? ¿Qué aspecto tienen los sistemas planetarios más antiguos, miles de millones de años más evolucionados que el nuestro? En los próximos siglos nuestro conocimiento de otros sistemas tendrá un alcance cada vez mayor. Empezaremos a saber cuáles debemos visitar, cuáles sembrar y cuáles colonizar.

Imaginemos que pudiéramos acelerar de forma continua a 1 g —con lo bien que se está en nuestra vieja tierra firme— hasta la mitad del viaje, y decelerar de forma continua a 1 g hasta que alcanzáramos nuestro destino. En ese caso, nos llevaría un

día llegar a Marte, una semana y media a Plutón, un año a la Nube de Oort y unos pocos años a las estrellas más cercanas.

Incluso una modesta extrapolación de nuestros avances recientes en el ámbito del transporte sugiere que, en sólo unos pocos siglos, seremos capaces de viajar a una velocidad cercana a la de la luz. Quizá sea una predicción desesperadamente optimista. Tal vez, en realidad, tardemos milenios o más. Pero, a menos que nos autodestruyamos antes, estaremos inventando nuevas tecnologías, tan extrañas para nosotros como los *Voyager* lo serían para nuestros antepasados cazadores-recolectores. Ya en la actualidad podemos imaginar maneras —torpes, ruinosamente caras e ineficaces, sin duda alguna— de construir una nave espacial que se aproxime a la velocidad de la luz. Con el tiempo, los diseños se harán más elegantes, más asequibles, más eficientes. Llegará un día en que superaremos la necesidad de saltar de cometa en cometa. Comenzaremos a planear sobre los años luz y, como dijo san Agustín de los dioses de los antiguos griegos y romanos, colonizaremos el cielo.

Esos descendientes pueden estar a decenas o centenas de generaciones de distancia de todo el que alguna vez habitó la superficie de un planeta. Sus culturas serán diferentes, sus tecnologías mucho más avanzadas, su asociación con la inteligencia mecánica mucho más íntima, sus lenguajes habrán cambiado, y quizá su misma apariencia estará marcadamente alterada en comparación con la de sus casi míticos antepasados que intentaron por primera vez, avanzado el siglo XX, zarpar hacia el mar del espacio. Pero serán humanos, al menos en una parte importante; serán profesionales de la alta tecnología; tendrán memoria histórica. A pesar del juicio de Agustín sobre la mujer de Lot, de que «nadie que sea salvado debe añorar lo que deja atrás», ellos no olvidarán del todo la Tierra.

Pero estamos muy lejos de estar preparados, puede estar pensando alguien. Como escribió Voltaire en su *Memnon,* «nuestro pequeño globo terráqueo es el manicomio de esos cien mil millones de mundos».*

Nosotros, que ni siquiera somos capaces de poner orden en nuestro propio hogar planetario, convulsionado por rivalidades y odios, nosotros que saqueamos nuestro entorno medioambiental, nos matamos unos a otros llevados por la ira y el descuido, así como de forma intencionada; una especie, además, que hasta hace muy poco tiempo estaba convencida de que el universo se había creado para su exclusivo beneficio... ¿nosotros vamos a aventurarnos en el espacio, desplazar mundos, remodelar planetas y extendernos a sistemas estelares vecinos?

Me imagino que no seremos precisamente *nosotros,* con nuestras actuales costumbres y convenciones sociales, los que estaremos presentes ahí fuera. Si continuamos acumulando solamente poder y no sensatez, con toda seguridad nos autodestruiremos. Nuestra misma existencia en ese futuro distante requiere que hayamos cambiado nuestras instituciones y también nuestra forma de ser. ¿Cómo puedo atreverme a efectuar suposiciones sobre los humanos en un futuro lejano?

---

* Un valor que precisamente se aproxima a las estimaciones modernas del número de planetas que orbitan a estrellas en la galaxia Vía Láctea.

Yo creo que es una mera cuestión de selección natural. Si nos volvemos sólo un poco más violentos, cortos de miras, ignorantes y egoístas de lo que somos hoy, casi seguro que no tendremos futuro.

Si es usted joven, cabe la posibilidad de que a lo largo de su vida demos los primeros pasos sobre los asteroides cercanos y sobre Marte. Extender esa predicción a las lunas de los planetas jovianos y al Cinturón de cometas Kuiper exigirá más generaciones. La Nube de Oort deberá esperar todavía mucho más. Cuando llegue la época en que estemos preparados para colonizar otros sistemas planetarios, incluso los más cercanos, habremos cambiado. El simple tránsito de tantas generaciones nos habrá cambiado. Las diferentes circunstancias bajo las que viviremos nos habrán cambiado. Las prótesis y la ingeniería genética nos habrán cambiado. La necesidad nos habrá cambiado. Somos una especie adaptable.

No seremos nosotros los que alcancemos Alpha Centauri y las demás estrellas cercanas. Será una especie muy parecida, pero con mayor presencia de nuestras virtudes y menos de nuestros defectos, una especie que ha regresado a unas circunstancias más parecidas a aquellas para las cuales evolucionó, más confiada, más perspicaz, más capaz y más prudente, la clase de seres que nos gustaría que nos representasen en un universo, por lo que sabemos, repleto de especies más antiguas, mucho más poderosas y muy diferentes.

Las inmensas distancias que separan las estrellas son providenciales. Los seres y los mundos están en cuarentena unos frente a otros. Y la cuarentena se levanta solamente a aquellos que tienen autoconocimiento y juicio suficientes como para haber viajado de forma segura de estrella a estrella.

En plazos inmensos de tiempo, en cientos de miles de millones de años, los centros de las galaxias explotan. Contemplamos, esparcidas por el espacio profundo, galaxias con «núcleos activos», quasars, galaxias deformadas por colisiones, con sus brazos espirales rotos, sistemas estelares reventados por la radiación o absorbidos ávidamente por agujeros negros, y deducimos que, en esos plazos, incluso el espacio interestelar y las galaxias pueden no ser seguros. Existe un halo de materia negra rodeando a la Vía Láctea, extendiéndose quizá hasta la mitad de la distancia que nos separa de la siguiente galaxia espiral (M 31 en la constelación de Andrómeda, la cual contiene también cientos de miles de millones de estrellas). No sabemos qué es esa materia oscura, ni cómo está dispuesta, pero una parte de la misma puede hallarse en mundos que no están ligados a estrellas individuales.

Puede ser en su mayor parte materia que no está compuesta por partículas subatómicas, que no contiene nuestros conocidos protones y neutrones, y tampoco es antimateria. Más del noventa por ciento de la masa del universo parece estar sumido en este oscuro, depuradísimo y profundamente misterioso material, completamente desconocido en la Tierra. Quizá un día no sólo comprenderemos lo que es, sino que además tal vez encontremos una manera de utilizarlo.

De ser así, nuestros descendientes del futuro remoto tendrán una oportunidad, en inimaginables intervalos de tiempo, de establecerse en el espacio intergaláctico

y de pasar a otras galaxias.

Pero en el plazo de tiempo necesario para poblar nuestra galaxia, si no mucho antes, debemos preguntarnos: ¿hasta qué punto es inmutable este anhelo de seguridad que nos empuja hacia fuera? ¿Nos sentiremos un día satisfechos con el nivel que ha alcanzado nuestra especie y con sus éxitos y nos retiraremos voluntariamente del escenario cósmico? Dentro de millones de años a partir de ahora —probablemente mucho antes— nos habremos convertido en seres diferentes. Aunque no hagamos nada de forma intencionada, el proceso natural de mutación y selección habrá labrado nuestra extinción o nos habrá hecho evolucionar hacia alguna otra especie precisamente en ese plazo de tiempo (a juzgar por el ejemplo que nos brindan otras especies de mamíferos). Durante el plazo de existencia de una especie de mamíferos —incluso aunque fuéramos capaces de viajar a la velocidad de la luz y no nos dedicáramos a ninguna otra cosa— no podríamos, en mi opinión, explorar ni siquiera una porción representativa de la galaxia Vía Láctea. Sencillamente, es demasiado grande. Y más allá hay cien mil millones de galaxias más. ¿Perdurarán nuestras motivaciones actuales a lo largo de plazos geológicos, y no digamos ya cosmológicos, si nosotros nos hemos transformado? En el transcurso de épocas, puede que encontremos salidas mucho más importantes y dignas para nuestras ambiciones que el mero hecho de poblar un número ilimitado de mundos.

Algunos científicos han imaginado que tal vez un día crearemos nuevas formas de vida, conectaremos mentes, colonizaremos estrellas, reconfiguraremos galaxias o impediremos, en un volumen cercano del espacio, la expansión del universo. En un artículo de 1993 en la publicación *Nuclear Physics,* el físico Andrei Linde —posiblemente en tono humorístico— sugiere que a la larga podría ser posible crear, en experimentos de laboratorio —aunque tendría que ser todo un señor laboratorio—, universos separados, independientes y en expansión. «Sin embargo —me escribe—, ni yo mismo sé si [esta sugerencia] no es más que una broma o es algo más.» Ante una lista así de proyectos para el futuro lejano no tendremos reparos en reconocer una constante ambición humana por arrogarnos poderes que, en su día, fueron considerados propios de un dios, o, empleando una metáfora más estimulante, por concluir la Creación.

A lo largo de muchas páginas hemos abandonado el dominio de las conjeturas plausibles para pasar a la temeraria intoxicación que supone la especulación casi sin límites. Ya es hora de volver a nuestra propia época.

Mi abuelo, que nació antes de que las ondas de radio fueran ni siquiera una curiosidad de laboratorio, vivió casi lo suficiente como para ver el primer satélite artificial contemplándonos desde el espacio. Hay personas nacidas antes de que existiera nada parecido a un avión que vieron en el crepúsculo de sus vidas cómo eran lanzadas cuatro naves rumbo a las estrellas. Con todos nuestros fallos, a pesar de nuestras limitaciones y falibilidades, los seres humanos somos capaces de lograr la grandeza. Eso es válido para nuestra ciencia y para algunas áreas de nuestra tecnología, para nuestro arte, música, literatura, altruismo y compasión, e incluso,

en raras ocasiones, para nuestra política. ¿Qué nuevas maravillas jamás soñadas en nuestro tiempo serán labradas en otra generación? *¿Y* en otra? ¿Hasta dónde habrá caminado nuestra especie de nómadas a fines del próximo siglo? *¿Y* al finalizar el próximo milenio?

Dos mil millones de años atrás nuestros antepasados eran microbios; quinientos millones de años atrás, peces; cien millones de años atrás eran parecidos a los ratones; y hace un millón de años, protohumanos intentando domesticar el fuego. Nuestro linaje evolutivo está marcado por la supremacía del cambio. En nuestro tiempo, el ritmo se está acelerando.

La primera vez que viajemos a un asteroide cercano, habremos penetrado en un hábitat que puede cautivar a nuestra especie para siempre. El primer viaje de hombres y mujeres a Marte constituye el paso clave para transformarnos en una especie multiplanetaria. Estos acontecimientos son tan trascendentales como la colonización de la tierra por nuestros antepasados anfibios y el descenso de nuestros antepasados primates de los árboles al suelo.

Los peces, provistos de rudimentarios pulmones y aletas poco adaptadas para caminar, debieron morir en ingentes cantidades antes de poner un pie en firme sobre la tierra. A medida que las selvas retrocedían lentamente, nuestros antepasados bípedos parecidos a los simios se escondían a menudo entre los árboles, huyendo de los predadores que acechaban en las sabanas. Las transiciones fueron dolorosas, se prolongaron durante millones de años, y fueron imperceptibles para los que se hallaban involucrados. En nuestro caso, la transición ocupa solamente unas cuantas generaciones y comporta solamente la pérdida de un puñado de vidas. El ritmo es tan vertiginoso que apenas somos capaces de comprender lo que está ocurriendo.

En cuanto nazcan los primeros niños fuera de la Tierra; cuando tengamos bases y puestos en asteroides, cometas, lunas y planetas; cuando vivamos de la tierra y eduquemos nuevas generaciones en otros mundos, algo habrá cambiado para siempre en la historia humana. No obstante, habitar otros mundos no implica abandonar éste, al igual que la evolución de los anfibios no significó el fin de los peces. Durante muchísimo tiempo solamente una pequeña porción de nosotros estará ahí fuera.

En la moderna sociedad occidental, escribe el estudioso Charles Lindholm, la erosión de la tradición y el colapso de las creencias religiosas aceptadas nos deja sin *telos* (un fin por el que luchar), una noción santificada del potencial de la humanidad. Privados de un proyecto sagrado, nos queda solamente una imagen desmistificada de una humanidad frágil y falible, que ya no será capaz de alcanzar la condición de dios.

Opino que es muy saludable —en realidad es esencial— que tengamos bien presente nuestra fragilidad y falibilidad. Me preocupa la gente que aspira a ser como un dios. Pero, en lo que hace referencia al objetivo a largo plazo y al proyecto sagrado, sí tenemos uno ante nosotros. De él depende la propia supervivencia de nuestra especie. Si hemos estado encerrados bajo llave en una prisión del yo, aquí

se nos brinda una trampilla para escapar, algo que vale la pena, algo mucho más grande que nosotros mismos, un acto crucial en beneficio de la Humanidad. Poblar otros mundos unifica naciones y grupos étnicos, liga a las generaciones y requiere de nosotros que seamos inteligentes y sensatos a la vez. Libera nuestra naturaleza y, en parte, nos devuelve a nuestros comienzos. Incluso ahora, este nuevo *telos* se halla a nuestro alcance.

El pionero psicólogo William James denominó religión al hecho de «sentirse en casa en el universo». Nuestra tendencia ha sido, tal como he descrito en los primeros capítulos de este libro, fingir que el universo es como quisiéramos que fuera nuestro hogar, en lugar de poner en duda nuestra noción de qué hay de hogareño en *abrazar* el universo. Si al considerar la definición de James estamos pensando en el universo real, entonces no poseemos todavía ninguna religión verdadera. Eso queda para otra época, cuando el aguijón de las grandes degradaciones haya quedado bien atrás, cuando estemos aclimatados a otros mundos y ellos a nosotros, cuando nos estemos extendiendo hacia las estrellas.

El cosmos se proyecta, a todos los efectos prácticos, para siempre. Tras un breve hiato sedentario, estamos recuperando nuestro antiguo estilo de vida nómada. Nuestros descendientes remotos, instalados bien seguros en muchos mundos del sistema solar y más allá, estarán unidos por una herencia común, por la estimación hacia su planeta y por el conocimiento de que, aunque el universo pueda albergar otra clase de vida, los únicos humanos en toda su extensión proceden de la Tierra.

Mirarán hacia arriba y se esforzarán por localizar el punto azul en sus cielos. No por ver su oscuridad y fragilidad lo amarán menos. Se admirarán de cuan vulnerable fue en su día el depositario de todo nuestro potencial, cuan azarosa nuestra infancia, cuan humildes nuestros comienzos, cuántos ríos tuvimos que cruzar antes de encontrar nuestro camino.

AGRADECIMIENTOS

La mayor parte del material de este libro es nuevo. Algunos capítulos son desarrollos más amplios de artículos publicados primero en la revista *Parade,* un suplemento dominical de la prensa diaria americana que, con un volumen estimado de lectores que alcanza los 73 millones, es posiblemente la revista más leída en todo el mundo. Me siento enormemente en deuda con Walter Anderson, jefe de redacción, y David Currier, editor ejecutivo, por su apoyo y saber editorial, así como con los lectores de *Parade,* cuyas cartas me han ayudado a comprender en qué pasajes me he expresado con claridad y en cuáles lo he hecho de manera más confusa, y me han dado una idea de cómo eran recibidos mis argumentos. Partes de otros capítulos han surgido de artículos publicados en *Issues in Science and Technology, Discover, The Planetary Report, Scientific American* y *Popular Mechanics.*

Determinados aspectos de este libro han sido discutidos con numerosos amigos y colegas, cuyos comentarios lo han enriquecido en gran medida. Aunque son demasiados para mencionarlos nombre por nombre, deseo expresar mi más sincera gratitud a todos y cada uno de ellos. No obstante, quiero agradecer especialmente a Norman Augustine, Roger Bonnet, Freeman Dyson, Louis Friedman, Everett Gibson, Daniel Goldin, J. Richard Gott III, Andrei Linde, Jon Lomberg, David Morrison, Roald Sagdeev, Steven Soter, Kip Thorne y Frederick Turner sus comentarios sobre partes o la totalidad del manuscrito; a Seth Kaufmann, Peter Thomas y Joshua Grinspoon su ayuda con los cuadros y los gráficos; así como a un brillante grupo de artistas especializados en astronomía, cuyos nombres figuran en cada ilustración, por haberme permitido actuar como escaparate de su trabajo. Gracias a la generosidad de Kathy Hoyt, Al McEwen y Larry Soderblom, he tenido la oportunidad de dar a conocer algunos de los excepcionales fotomosaicos, mapas aerografiados y otras reducciones de imágenes de la NASA llevadas a cabo en el Departamento de Astrogeología del U. S. Geological Survey.

Debo agradecer también a Andrea Barnett, Laura Parker, Jennifer Bland, Loren Mooney, Karen Gobrecht, Deborah Pearlstein, así como a la difunta Eleanor York su capacitada asistencia técnica; y a Ann Godoff, Kathy Rosenbloom, Andy Carpenter y Martha Schwartz su colaboración en la producción. Beth Tondreau es responsable del elegante diseño de estas páginas.

En materia de política espacial, me he beneficiado de discusiones con otros miembros de la junta directiva de la Sociedad Planetaria, especialmente con Bruce Murray, Louis Friedman, Norman Augustine, Joe Ryan y el difunto Thomas O.

Paine. Dedicada a la exploración del sistema solar, la búsqueda de vida extraterrestre y las misiones internacionales tripuladas a otros mundos, es la organización que mejor encarna la perspectiva que presenta este libro. Los lectores que estén interesados en obtener una información más detallada sobre esta organización sin ánimo de lucro, el grupo más importante de interesados por los temas espaciales en toda la Tierra, pueden ponerse en contacto con:

THE PLANETARY SOCIETY 65 N. Catalina Avenue

Pasadena, CA 91106 Tel: 1-800-9WORLDS

Tal como ha ocurrido en cada uno de los libros que he escrito desde 1977, no tengo palabras para expresar mi gratitud a Ann Druyan, por sus aportaciones críticas y fundamentales contribuciones, tanto en lo que se refiere al contenido como al estilo. En la inmensidad del espacio y del tiempo, me siento feliz de poder disfrutar del privilegio de compartir un mismo planeta y una misma época con Annie.

NOTAS SOBRE EL AUTOR

CARL SAGAN ha jugado un papel principal en el programa espacial americano desde sus comienzos. Siendo consejero de la NASA a partir de los años cincuenta, instruyó a los astronautas del programa Apolo antes de que partieran hacia la Luna, y formó parte del equipo de experimentación en las expediciones de los *Mariner, Viking, Voyager* y *Galileo* a los planetas, incluyendo la primera misión planetaria coronada por el éxito, la del *Mariner 2.* Contribuyó a resolver los misterios de la elevada temperatura de Venus (origen: un masivo efecto invernadero), de los cambios estacionales observados en Marte (origen: polvo levantado por el viento) y de la envoltura roja de Titán (origen: presencia de moléculas orgánicas complejas).

Asimismo, ha sido pionero en la comprensión de las consecuencias globales de una confrontación nuclear, en la búsqueda de vida en otros planetas mediante naves espaciales, en la caza de señales de radio procedentes de civilizaciones distantes en el espacio, así como en lo que concierne a los estudios realizados en el laboratorio respecto a los pasos que conducen al origen de la vida.

El trabajo del doctor Sagan ha sido reconocido con las medallas de la NASA por Méritos Científicos Excepcionales y (en dos ocasiones) por Servicio Público Distinguido, así como el Premio Apollo Achievement de la NASA. El asteroide 2709 Sagan fue bautizado con su nombre. También le fue concedido el Premio de Astronáutica John F. Kennedy de la Sociedad Americana de Astronáutica, el premio del *15* aniversario del Explorers Club, la medalla Tsiolkovsky de la Federación Soviética de Cosmonáutica, el Premio Masursky de la Sociedad Americana de Astronomía («por su extraordinaria aportación al desarrollo de la ciencia planetaria») y, en 1994, la medalla del Bienestar Público, la más alta distinción de la Academia Nacional de Ciencias («por su notable tributo a la

aplicación de la ciencia al bienestar público... Nadie ha conseguido nunca transmitir las maravillas ni el carácter estimulante y jubiloso de la ciencia con tanta amplitud como lo ha hecho Cari Sagan... Su habilidad para cautivar la imaginación de millones de personas y para explicar conceptos complejos en términos comprensibles constituye un magnífico logro»).

Ganador del Premio Pulitzer, el doctor Sagan es autor de muchos bestsellers, entre los que destaca *Cosmos,* el libro científico más leído de cuantos se han publicado en lengua inglesa. La serie de televisión homónima, ganadora de los premios Emmy y Peabody, ha sido seguida por más de quinientos millones de personas en sesenta países. Actualmente, Sagan es profesor de la cátedra David Duncan de Astronomía y Ciencias del Espacio, así como director del Laboratorio de Estudios Planetarios de la Universidad de Cornell; Distinguished Visiting Scientist del Laboratorio de Propulsión a Chorro del Instituto de Tecnología de California, y cofundador y presidente de la Sociedad Planetaria, la asociación más importante del mundo dedicada a temas del espacio.

BIBLIOGRAFÍA

(Citas y sugerencias para profundizar el tema)

EXPLORACIÓN PLANETARIA EN GENERAL:

J. Kelly Beatty y Andrew Chaiken, eds., *The New Solar System,* 3.ª ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1990.

Eric Chaisson y Steve McMillan, *Astronomy Today,* Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1993.

Esther C. Goddard, ed., *The Papers of Robert H. Goddard,* 3 vols., Nueva York, McGraw-Hill, 1970.

Ronald Greeley, *Planetary Landscapes,* 2.ª ed., Nueva York, Chapman and Hall, 1994.

William J. Kaufmann III, *Universe,* 4.ª ed., Nueva York, W. H. Freeman, 1993.

Harry Y. McSween, Jr., *Stardust to Planets,* Nueva York, St. Martin's, 1994.

Ron Miller y William K. Hartmann, *The Grand Tour: A Traveler's Guide to the Solar System,* edición revisada, Nueva York, Workman, 1993.

David Morrison, *Exploring Planetary Worlds,* Nueva York, Scientific American Books, 1993.

Bruce C. Murray, *Journey to the Planets,* Nueva York, W. W. Norton, 1989.

Jay M. Pasachoff, *Astronomy: From Earth to the Universe,* Nueva York, Saunders, 1993.

Cari Sagan, *Cosmos,* Barcelona, Planeta, 1982.

Konstantin Tsiolkovsky, *The Call of the Cosmos,* Moscú, Foreign Languages Publishing House, 1960 (trad. inglesa).

CAPÍTULO 3. LAS GRANDES DEGRADACIONES

John D. Barrow y Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principie,* Nueva York, Oxford University Press, 1986.

A. Linde, *Particle Physics and Inflationary Cosmology,* Harwood Academy Publishers, 1991.

B. Stewart, «Science or Animism?», *Creation/Evolution,* vol. 12, núm. 1, 1992, pp. 18-19.

Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory,* Nueva York, Vintage Books, 1994.

CAPÍTULO 4. EL UNIVERSO NO SE HIZO PARA NOSOTROS

Bryan Appleyard, *Understanding the Present: Science and the Soul of Modern Man,* Londres, Picador/Pan Books Ltd., 1992. (Los pasajes citados aparecen por orden en las páginas siguientes: 232, 27, 32, 19, 19, 27, 9, XIV, 137, 112-113, 206, 10, 239, 8, 8.)

J. B. Bury, *History of the Papacy in the 19th Century,* Nueva York, Schocken, 1964. Aquí, como en muchas otras fuentes, el *Syllabus* de 1864 aparece transcrito a su forma «positiva» (por ejemplo: «La revelación divina es perfecta»), en lugar de formar parte de una lista de errores condenados («La revelación divina es imperfecta»).

CAPÍTULO 5. ¿HAY VIDA INTELIGENTE EN LA TIERRA?

Carl Sagan, W. R. Thompson, Robert Carlsson, Donald Gurnett y Charles Hord, «A Search for Life on Earth from the *Galileo* Spacecraft», *Nature,* vol. 365, 1993, pp. 715-721.

CAPÍTULO 7. ENTRE LAS LUNAS DE SATURNO

Jonathan Lunine, «Does Titan Have Oceans?», *American Scientist,* vol. 82, 1994, pp. 134-144.

Carl Sagan, W. Reid Thompson y Bishun N. Khare, «Titan: A Laboratory for Prebiological Organic Chemistry», *Accounts of Chemical Research,* vol. 25, 1992, pp. 286-292.

J. William Schopf, *Major Events in the History of Life,* Boston, Jones and Bartlett, 1992.

CAPÍTULO 8. EL PRIMER PLANETA NUEVO

I. Bernard Cohen, «G. D. Cassini and the Number of the Planets», en *Nature, Experiment and the Sciences,* Trevor Levere y W. R. Shea, eds., Dordrecht, Kluwer, 1990.

CAPÍTULO 9. UNA NAVE AMERICANA EN LAS FRONTERAS DEL SISTEMA SOLAR

Murmurs of Earth, CD-ROM del disco interestelar de la nave *Voyager,* con introducción de Carl Sagan y Ann Druyan, Los Ángeles, Warner New Media, 1992, WNM 14022.

Alexander Wolszczan, «Confirmation of Earth-Mass Planets Orbiting the Millisecond Pulsar PSR B1257 + 12», *Science,* vol. 264, 1994, pp. 538-542.

CAPÍTULO 12. EL SUELO SE FUNDE

Peter Cattermole, *Venus: The Geologica! Survey,* Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1994.

Peter Francis, *Volcanoes: A Planetary Perspective,* Oxford, Oxford University Press, 1993.

C A P Í T U L O 13. EL OBSEQUIO DE APOLO
Andrew Chaikin, *A Man on the Moon,* Nueva York, Viking, 1994.
Michael Collins, *Liftoff,* Nueva York, Grove Press, 1988.
Daniel Deudney, «Forging Missiles into Spaceships», *World Policy Journal,* vol. 2, núm. 2, primavera 1985, p. 271-303.
Harry Hurt, *For All Mankind,* Nueva York, Atlantic Monthly Press, 1988.
Richard S. Lewis, *The Voyages of Apollo: The Exploration of the Moon,* Nueva York, Quadrangle, 1974.
Walter A. McDougall, *The Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age,* Nueva York, Basic Books, 1985.
Alan Shepherd, Deke Slayton et al., *Moonshot,* Atlanta, Hyperion, 1994.
Don E. Wilhelms, *To a Rocky Moon: A Geologist's History of Lunar Exploration,* Tucson, University of Arizona Press, 1993.

CAPÍTULO 14. EXPLORAR OTROS MUNDOS Y PROTEGER EL NUESTRO
Kevin W. Kelley, ed., *The Home Planet,* Reading, M. A. Addison-Wesley, 1988.
Carl Sagan y Richard Turco, *A Path Where No Man Thought: Nuclear Winter and the End of the Arms Race,* Nueva York, Random House, 1990.
Richard Turco, *Earth Under Siege: Air Pollution and Global Change,* Nueva York, Oxford University Press, en prensa.

CAPÍTULO 15. EL MUNDO DE LAS MARAVILLAS ABRE SUS PUERTAS
Victor R. Baker, *The Channels of Mars,* Austin, University of Texas Press, 1982.
Michael H. Carr, *The Surface of Mars,* New Haven, Yale University Press, 1981.
H. H. Kieffer, B. M. Jakosky, C. W. Snyder, y M. S. Matthews, eds., *Mars,* Tucson, University of Arizona Press, 1992.
John Noble Wilford, *Mars Beckons: The Mysteries, the Challenges, the Expectations of Our Next Great Adventure in Space,* Nueva York, Knopf, 1990.

CAPÍTULO 18. EL PANTANO DE CAMARINA
Clark R. Chapman y David Morrison, «Impacts on the Earth by Asteroids and Comets: Assessing the Hazard», *Nature,* vol. 367, 1994, pp. 33-40.
A. W. Harris, G. Canavan, C. Sagan, y S. J. Ostro, «The Deflection Dilemma: Use vs. Misuse of Technologies for Avoiding Interplanetary Collision Hazards», en *Hazards Due to Asteroids and Comets,* T. Gehrels, ed., Tucson, University of Arizona Press, 1994.

John S. Lewis y Ruth A. Lewis, *Space Resources: Breaking the Bonds of Earth,* Nueva York, Columbia University Press, 1987.

C. Sagan y S. J. Ostro, «Long-Range Consequences of Interplanetary Collision Hazards», *Issues in Science and Technology,* verano 1994, pp. 67-72.

CAPÍTULO 19. REMODELAR LOS PLANETAS

J. D. Bernal, *The World, the Flesh and the Devil,* Bloomington, Indiana University Press, 1969; primera edición, 1929.

James B. Pollack y Carl Sagan, «Planetary Engineering», en J. Lewis y M. Matthews, eds., *Near-Earth Resources,* Tucson, University of Arizona Press, 1992.

CAPÍTULO 20. OSCURIDAD

Frank Drake y Dava Sobel, *Is Anyone Out There?,* Nueva York, Delacorte, 1992.

Paul Horowitz y Carl Sagan, «Project META: A Five-Year All-Sky Narrowband Radio Search for Extraterrestrial Intelligence», *Astrophysical Journal,* vol. 415, 1992, pp. 218-235.

Thomas R. McDonough, *The Search for Extraterrestrial Intelligence,* Nueva York, John Wiley and Sons, 1987.

Carl Sagan, *Contact: A Novel,* Nueva York, Simon and Schuster, 1985.

CAPÍTULO 21 . ¡HACIA EL CIELO!

J, Richard Gott III, «Implications of the Copernican Principie for Our Future Prospects», *Nature,* vol. 263, 1993, pp. 315-319.

CAPÍTULO 22. DE PUNTILLAS POR LA VÍA LÁCTEA

LA. Crawford, «Interestellar Travel: A Review for Astronomers», *Quarterly Journal of the Roy al Astronomical Society,* vol. 31, 1990, p. 377.

I. A. Crawford, «Space, World Government, and *The End of History», Journal of the British Interplanetary Society,* vol. 46, 1993, pp. 415-420.

Freeman J. Dyson, *The World, the Flesh, and the Devil,* Londres, Birkbeck College, 1972.

Ben R. Finney y Eric M. Jones, eds., *Interstellar Migration and the Human Experience,* Berkeley, University of California Press, 1985.

Francis Fukuyama, *The End of History and the Last Man,* Nueva York, The Free Press, 1992.

Charles Lindholm, *Charisma,* Oxford, Blackwell, 1990. El comentario acerca de la necesidad de un *telos* se encuentra en este libro.

Eugene F. Mallove y Gregory L. Matloff, *The Starflight Handbook,* Nueva York, John Wiley and Sons, 1989.

Carl Sagan y Ann Druyan, *Comet,* Nueva York, Random House, 1985.